پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمّی، سال یازهم، شماره ۱، تابستان ۱۴۰۱
صص. ۴۳-۱۹

ارزیابی تغییرات مورفولوژیکی و خطر سیلاب رودخانه گیوی‌چای با استفاده از شاخص‌های ژئومورفومتری و مدل HEC-RAS

فریبا اسفندیاری درآباد* – استاد گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل.
منصور خیری زاده آروق – دانش آموخته دکتری ژئومورفولوژی از دانشگاه تبریز.
مسعود رحیمی – دانش آموخته دکتری ژئومورفولوژی از دانشگاه تبریز.

پذیرش مقاله: ۱۴۰۰/۰۳/۲۱ تائید نهایی: ۱۴۰۰/۰۷/۲۷

چکیده

در پژوهش حاضر به ارزیابی مورفولوژی و سیلاب‌های رودخانه گیوی‌چای، واقع در استان اردبیل، پرداخته می‌شود. بدین منظور از شاخص‌های ضریب خمیدگی، زاویه مرکزی و ترانسکت استفاده به عمل آمد. برای شبیه‌سازی سیلاب رودخانه نیز مدل HEC-RAS در بستر GIS به کار گرفته شد. تصاویر ماهواره‌ای Aster و Sentinel، نقشه‌های توپوگرافی مقیاس ۱:۲۰۰۰، تصویر مدل رقومی ارتفاع (DEM) با قدرت تفکیک ۱ متر، نقشه کاربری اراضی، نقشه‌های زمین‌شناسی مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ و داده‌های ایستگاه‌های هیدرومتری فیروزآباد و ایستی‌سو مهم‌ترین داده‌های مورد استفاده در پژوهش حاضر به‌شمار می‌روند. نتایج نشان می‌دهند که الگوی رودخانه گیوی‌چای از نوع مئاندری توسعه یافته می‌باشد اما بسته به شرایط زمین‌شناختی، ژئومورفولوژیکی و آنتروپوژنیک از تغییرپذیری مکانی زیادی برخوردار است. الگوی رودخانه در بازه اول (بازه خلخال) در کنترل عوامل انسانی می‌باشد. در این بازه میانگین تغییرات عرضی درحدود ۰/۴۰۶ هکتار بوده است. الگوی رودخانه در بازه دوم (بازه گیوی) نیز از نوع مئاندری توسعه یافته می‌باشد. در طی ۱۸ سال گذشته مقادیر ضریب خمیدگی و زاویه مرکزی در محدوده این بازه افزایش یافته است. در این بازه میانگین تغییرات عرضی در طی سال‌های ۲۰۰۲ تا ۲۰۲۰ میلادی درحدود ۰/۴۰۶ هکتار بوده است. در بازه سوم (بازه فیروزآباد) مجرای رودخانه از پتانسیل بالایی برای تغییرات جانبی برخوردار است. میانگین تغییرات جانبی در محدوده این بازه به ۱/۳۱۹ هکتار افزایش پیدا می‌کند. مجرای رودخانه در بازه چهارم به دلیل عرض محدود دره و مقاوم بودن مواد کناره از کمترین میزان تحرک جانبی برخوردار می‌باشد. شبیه‌سازی سیلاب با استفاده از مدل HEC-RAS نشان‌دهنده تغییرپذیری مکانی بالای خطر سیلاب در امتداد رودخانه است. این تغییرپذیری از شرایط ژئومورفولوژیکی متغیر در امتداد رودخانه نشات می‌گیرد. نتایج نشان می‌دهد که سیلاب‌های با دوره بازگشت کمتر از ۱۰ سال مخاطره‌ای جدی را متوجه جوامع انسانی ساکن در مجاورت رودخانه گیوی‌چای نمی‌سازند. این سیلاب‌ها عمدتا اراضی کشاورزی حاشیه رودخانه را متاثر می‌سازند. در این رابطه، بازه سوم از بیشترین میزان تاثیرپذیری نسبت به این سیلاب‌ها برخوردار است. همچنین، بخش‌هایی از شهر خلخال می‌تواند توسط سیلاب‌های با دوره بازگشت ۲۵ ساله و بالاتر تحت تاثیر قرار گیرد.

واژگان کلیدی: سیلاب، مورفولوژی، مدل HEC-RAS، رودخانه گیوی‌چای.

---

* نویسنده مسئول: E-mail: Esfandyariuma.ac.ir

مقدمه

سیل به هر گونه تراز جریانی گفته می‌شود که بیش از ظرفیت حمل طبیعی مجرای رودخانه بوده، از کناره‌های آن سرریز شده و اراضی کم‌ارتفاع مجاور را غرقاب سازد (سازماندهی ایالات آمریکا[1]، ۱۹۹۹). سازمان زمین‌شناسی ایالات متحده سیل را به عنوان «آب با تراز نسبتا بالا که از کناره‌های طبیعی یا مصنوعی یک رودخانه یا ناحیه ساحلی سرریز شده و اراضی مجاور که در حالت عادی زیر آب نیستند را غرقاب می‌سازد» تعریف می‌کند (سازمان زمین‌شناسی ایالات متحده آمریکا[2]، ۲۰۰۷). سیل می‌تواند به عنوان یک وضعیت هیدرولوژیکی تعریف شود که در آن دبی رودخانه بیش از ظرفیت ذخیره‌سازی کانال می‌گردد و آب مازاد سرریز می‌شود و بخشی از کف دره را غرقاب می‌کند. ارتفاع جریان سرریز و گستره غرقاب‌شدگی به اندازه سیل بستگی دارد، که به نوبه خود با فراوانی آن مرتبط است. در هر محل مشخص، سیلاب‌های بزرگتر به ندرت رخ می‌دهند و سیل‌های کوچکتر شایع هستند. سیل یک پدیده معمول و قابل انتظار برای یک رودخانه است، اما از آنجا که کناره‌های رودخانه‌ها معمولا پرجمعیت هستند، سیلاب‌های بزرگتر دارای یک مولفه خطرزا می‌باشند (الکانتارا- ایالا و گودی[3]، ۲۰۱۰). سیلاب‌ها عموما در نتیجه‌ی ترکیب دو نوع علل متمایز فیزیکی به وجود می‌آیند: الف) علل اولیه؛ این علل بیشتر در رابطه با شرایط هواشناسی و اتمسفری مرتبط با ویژگی‌های اقلیمی منطقه می‌باشند. رخدادهای بارش باران، انواع، شدت‌ها، جهت‌ها، بارندگی بیش از حد و غیره، از جمله متغیرهای این نوع علل به حساب می‌آیند. ب) علل ثانویه؛ این علل بیشتر در رابطه با ویژگی‌های حوضه زهکشی نظیر ژئومورفولوژی، زمین‌شناسی، پوشش گیاهی و غیره هستند. در این‌باره عناصر ضروری شامل مساحت حوضه آبریز، شیب، تراکم زهکشی، طول کانال اصلی، زمان تمرکز و غیره می‌باشند (شن[4]، ۲۰۱۸).

فرایندهای طبیعی رودخانه‌ای تنها زمانی منجر به بلایا می‌شوند که انسان، خود را در معرض خطر قرار دهد. به دلایل متعدد از جمله دسترسی به زمین ارزان، خاک حاصلخیز یا چشم‌انداز زیبا، دشت‌های سیلابی جهت سکونت انتخاب شده‌اند. بدین ترتیب با توسعه بیشتر دشت‌های سیلابی، تلفات و هزینه‌های مرتبط با سیلاب‌ها نیز افزایش پیدا می‌کند (هیندمن و هیندمن[5]، ۲۰۰۹). در واقع سیلاب‌ها از نظر بزرگی و اثرات انسانی از مخرب‌ترین بلایای طبیعی محسوب می‌شوند؛ به‌طوریکه، در مقایسه با سایر انواع بلایای طبیعی، حدود ۲۰-۴۰ درصد از رخدادهای گزارش شده را به خود اختصاص داده‌اند (سنه[6]، ۲۰۰۸). سیلاب‌ها علاوه بر اینکه به طور مستقیم یا غیر مستقیم خطراتی را متوجه جوامع انسانی می‌سازند باعث تغییرات ژئومورفولوژیکی قابل توجهی نیز می‌گردند. افزایش فرسایش، رسوب‌گذاری، حرکت جانبی کانال، یا تغییرات در شکل مسطحاتی مجرا در طی رخداد سیلاب مخاطرات آشکاری را متوجه جوامع انسانی، آبزیان و رودکنار می‌سازد. مخصوصا سازه‌های انسان‌ساخت به مخاطرات ژئومورفیک ناشی از وقوع سیلاب آسیب‌پذیر می‌باشند. آبشستگی بستر مجرا می‌تواند پل‌ها، سدها، و سازه‌های تثبیت‌کننده مجرا را از پی تضعیف نماید. لغزش کناره و جابجایی جانبی مجرا ممکن است ساختمان‌ها و جاده‌ها را تخریب کند. رسوب‌گذاری داخل مجرا ممکن است سازه‌های ورودی مرتبط با سیستم آبیاری را مسدود کرده و موجب افزایش وقوع سیلاب در دشت سیلابی گردد. همچنین رسوبات ناشی از جریانات طغیانی می‌تواند به ساختمان‌ها خسارت وارد کند (ووهل[7]، ۲۰۰۰).

مدیریت مخاطره سیل شامل تمامی اقدامات برنامه‌ریزی شده جهت اجرا در حوضه بالادست و دشت سیلابی به منظور کاهش سیل می‌باشد و معمولا شامل تعدیل و تغییر فیزیکی دشت سیلابی و مجرای رودخانه است. در این زمینه، تهیه

---

[1] - Organization of American States (OAS)
[2] - United States Geological Survey (USGS)
[3] - Alcántara-Ayala and Goudie
[4] - Şen
[5] - Hyndman and Hyndman
[6] - Sene
[7] - Wohl

نقشه‌های خطر سیل ابزاری موثر به منظور ارزیابی و مدیریت ریسک سیل به شمار می‌روند. مهم‌ترین اهداف تهیه نقشه خطر سیل را می‌توان بدین شرح بیان داشت: (۱) پشتیبانی از برنامه‌های مدیریت سیل، (۲) کاربری اراضی و فعالیت‌های برنامه‌ریزی مکانی، (۳) برنامه‌های اضطراری و تخلیه و (۴) افزایش آگاهی‌های عمومی از ریسک‌های سیل (الکانتارا- ایالا و گودی، ۲۰۱۰). در واقع، مدیریت ریسک سیل با طیف گسترده‌ای از موضوعات و اقدامات- از پیش‌بینی خطرات سیل و پیامدهای اجتماعی آنها تا اقدامات و ابزارهای کاهش ریسک- سروکار دارد. با توجه به جنبه‌های گوناگون مذکور، مدیریت ریسک سیل مستلزم رویکردی سیستماتیک و یکپارچه است (شنزه[۱]، ۲۰۰۴). درواقع، سیل فرآیندی دینامیک محسوب می‌شود که دارای مولفه فضایی است؛ بدین معنی که سیلاب در مکان خاصی اتفاق می‌افتد که در آن مکان، فاکتورهای دخیل گوناگونی جهت وقوع وجود دارد. به عنوان نمونه، شرایط معمول بروز سیل شامل سطوح با شیب ملایم، بارش سنگین باران و خاک اشباع شده می‌باشد (الکما[۲]، ۲۰۰۴). امروزه تخمین پهنه‌های در معرض سیلاب با استفاده از تکنیک سنجش از دور (RS) همراه با داده‌های موجود در سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) انجام می‌شود. این امر تهیه نقشه خطر سیل و نقشه اولویت‌بندی توسعه اراضی را امکان‌پذیر می‌سازد. رویکرد مذکور به طراحی زیرساخت‌های کنترل سیل و ارائه عملیات امداد و نجات برای نواحی پرخطر در طی سیل‌های آینده کمک خواهد کرد. بدین ترتیب GIS نقش عمده‌ای در تکنیک‌های کنترل سیل دارد و ادغام این داده‌ها در یک پایگاه داده فضایی بسیار مهم است (قوش[۳]، ۲۰۱۴). با توجه به پیشرفت سریع علم GIS در سال‌های اخیر و قابلیت بالای کامپیوترها در حل مسائل پیچیده و حجیم، استفاده از GIS برای نیل به این اهداف افزایش پیداکرده است تا جایی که امروزه برای افزایش دقت و سرعت پهنه‌بندی سیلاب، استفاده از GIS مرسوم شده و انجام پهنه‌بندی به‌صورت دستی و با روش‌های قدیمی، بدون به‌کارگیری GIS معنایی ندارد (ارزنلو، ۱۳۹۴). به‌منظور پهنه‌بندی دشت سیلابی، عمدتا مدل‌های یک‌بعدی مورد استفاده قرارگرفته و هنوز هم به‌طور معمول به کار گرفته می‌شوند (قمی اویلی و همکاران، ۱۳۸۹؛ غفاری و امینی، ۱۳۸۹؛ یمانی و همکاران، ۱۳۹۱؛ رضایی مقدم و همکاران، ۱۳۹۵؛ رضایی مقدم و همکاران، ۱۳۹۷؛ مارتین[۴] و همکاران، ۲۰۱۲؛ ایسوب[۵] و همکاران، ۲۰۱۵؛ ختتاک[۶] و همکاران، ۲۰۱۶؛ رازی[۷] و همکاران، ۲۰۱۸؛ رنگاری[۸] و همکاران، ۲۰۱۹؛ اوقراس و اونن[۹]، ۲۰۲۰؛ ازین[۱۰] و همکاران، ۲۰۲۰). تنظیم این مدل‌ها آسان بوده و محاسبات، سریع صورت می‌گیرند (مرواد[۱۱]، ۲۰۰۴). در این رابطه، HEC-RAS یک مدل هیدرولیکی است که توسط مرکز مهندسی هیدرولوژی[۱۲] بخش مهندسی ارتش ایالات متحده آمریکا توسعه یافته است (تات[۱۳]، ۱۹۹۹). سیستم HEC-RAS شامل چهار مؤلفه تحلیل یک‌بعدی رودخانه به‌منظور: (۱) محاسبات پروفیل سطح آب جریان ماندگار؛ (۲) شبیه‌سازی جریان غیر ماندگار؛ (۳) محاسبات انتقال رسوب مرزی متحرک و (۴) تحلیل کیفیت آب است (رضایی مقدم و همکاران، ۱۳۹۶؛ مرکز مهندسی هیدرولوژی[۱۴]، ۲۰۱۰). نتایج مدل، مخصوصاً در مدیریت دشت سیلابی و مطالعات بیمه سیل و به‌منظور ارزیابی اثرات تجاوز به مسیر سیلاب مورد استفاده

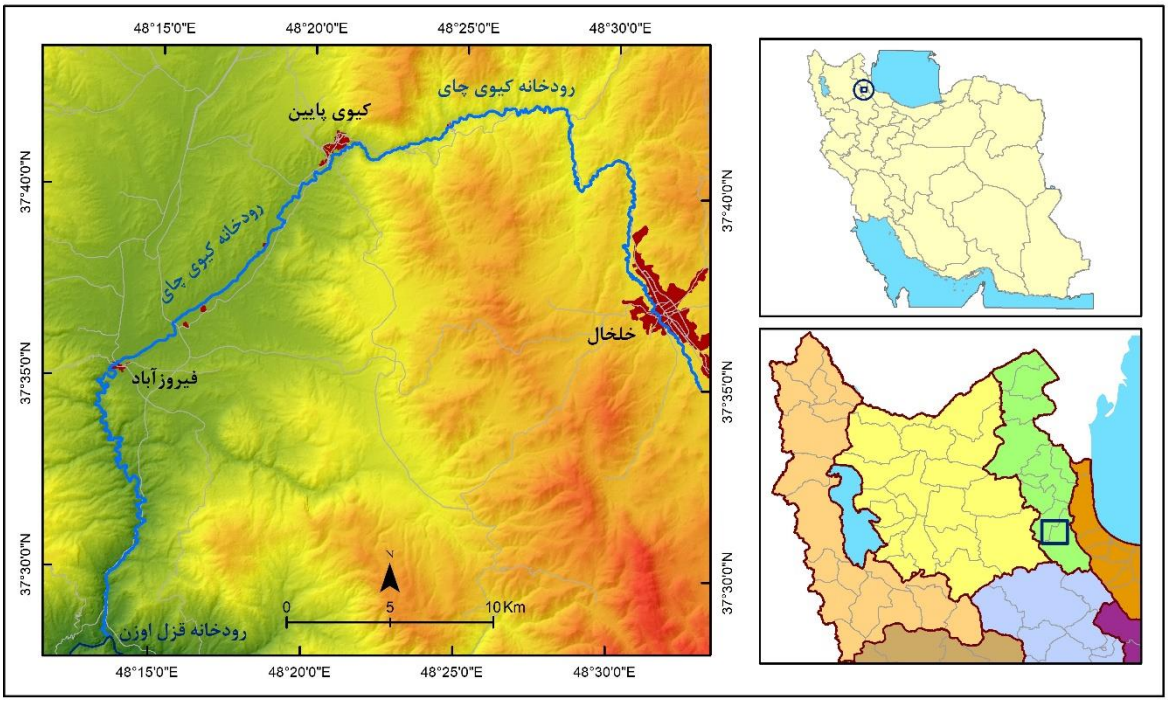
---

1 - Schanze
2 - Alkema
3 - Ghosh
4- Martin
5 - Iosub
6 - Khattak
7 - Razi
8 - Rangari
9- Ogras & Onen
10 - Ezzine
11- Merwade
12 - Hydrologic Engineering Center
13 - Tate
14 - Hydrologic Engineering Center

قرار می‌گیرند (تات، ۱۹۹۹). بدین ترتیب، بررسی سیلاب رودخانه‌ای هم از جنبه مخاطرات و هم از جنبه تغییرات مورفولوژیکی مجرا از اهمیت زیادی برخوردار بوده و می‌بایست در برنامه‌ریزی‌های مکانی مورد توجه قرار گیرند. در پژوهش حاضر، خطر سیلاب و پتانسیل تغییرات مورفولوژیکی آن در امتداد رودخانه گیوی‌چای- واقع در جنوب استان اردبیل- مورد ارزیابی قرار گرفته است. در این راستا از شاخص‌های کمّی ژئومورفیک و مدل HEC-RAS استفاده شده است. این رودخانه به دلیل عواملی مانند کوهستانی بودن، شیب بالا، وسعت زیاد حوضه زهکشی و ورود انشعابات پرآب، دریافت بارش‌های همرفتی- کوهساری و غیره از پتانسیل سیل‌خیزی بالایی برخوردار است. وقوع سیلاب‌های متعدد در منطقه ازجمله سیل تیرماه ۱۳۷۹، مرداد ۱۳۸۷، اردیبهشت ۱۳۸۹ و مرداد ۱۴۰۰ تایید کننده این امر است. از سوی دیگر، درجه ناهمواری بالا و محدودیت فضا باعث تمرکز سکونتگاه‌های انسانی و فعالیت‌های مربوطه (مخصوصا فعالیت‌های کشاورزی) به بستر دره اصلی گیوی‌چای و دره‌های انشعابات آن شده است. بدین ترتیب ارزیابی مکانی خطر سیلاب و پیامدهای آن در محدوده این رودخانه ضرورت پیدا می‌کند.

معرفی منطقه مورد مطالعه

در پژوهش حاضر مورفولوژی و خطر سیلاب رودخانه گیوی‌چای مورد ارزیابی قرار گرفته است. این رودخانه با مختصات جغرافیایی ۴۸ درجه و ۱۳ دقیقه و ۱۰ ثانیه تا ۴۸ درجه و ۳۳ دقیقه و ۱۰ ثانیه طول شرقی و ۳۷ درجه و ۲۷ دقیقه و ۱۰ ثانیه تا ۳۷ درجه و ۴۱ دقیقه و ۵۰ ثانیه عرض شمالی در محدوده استان اردبیل (شهرستان‌های خلخال و کوثر) واقع شده است (شکل ۱). بازه مورد مطالعه از رودخانه گیوی‌چای به طول ۷۸ کیلومتر از شرق شهر خلخال شروع شده و تا محل الحاق به رودخانه قزل‌اوزن امتداد می‌یابد. رودخانه گیوی‌چای آبراهه اصلی حوضه آبریز گیوی‌چای به شمار می‌رود که بخش‌های قابل‌توجهی از دامنه‌های رشته‌کوه‌های باغروداغ و بزقوش را زهکشی می‌کند. گیوی‌چای پس از پیوستن به رودخانه قزل‌اوزن به دریای خزر زهکشی می‌شود. رودخانه گیوی‌چای در منطقه‌ای با درجه ناهمواری بالا در حال جریان است و در اکثر مقاطع منطبق بر دره‌ای کم‌عرض می‌باشد. عرض دره در برخی از بازه‌ها افزایش یافته و درنتیجه دشت سیلابی توسعه یافته‌ای شکل گرفته که بستری مناسب برای فعالیت‌های کشاورزی فراهم نموده است. در این زمینه می‌توان به محدوده شهر خلخال اشاره نمود که منطبق بر عریض‌ترین قسمت دره گیوی‌چای می‌باشد و شهر خلخال در داخل و دامنه‌های مشرف به آن توسعه یافته است. در محدوده شهرهای گیوی و فیروزآباد نیز عرض دره افزایش یافته و دشت سیلابی نسبتا توسعه یافته‌ای شکل گرفته است. درجه ناهمواری بالا، مساحت زهکشی قابل توجه، کم‌عرض بودن دره، دریافت بارش‌های همرفتی- رگباری و تمرکز فعالیت‌های انسانی منطقه به دشت‌های سیلابی مجاور این رودخانه باعث افزایش خطرات ناشی از سیلاب‌های رودخانه‌ای شده است.



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی رودخانه گیوی‌چای در شمال غرب کشور

مواد و روش‌ها

مهم‌ترین داده‌های تحقیق حاضر عبارتنداز: نقشه‌های توپوگرافی مقیاس ۱:۲۰۰۰ بستر و دشت سیلابی رودخانه گیوی‌چای (سازمان آب منطقه‌ای استان اردبیل)، نقشه‌های توپوگرافی مقیاس ۱:۵۰۰۰۰، نقشه‌های زمین‌شناسی مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ (برگه‌های خلخال، گیوی و هشتچین)، مدل رقومی ارتفاعی (DEM) منطقه با قدرت تفکیک ۱۲/۵ متر مربوط به ماهواره ALOS-PALSAR، تصاویر ماهواره‌ای Aster (مربوط به سال ۲۰۰۲ میلادی) با قدرت تفکیک مکانی ۱۵ متر، Sentinel (مربوط به سال ۲۰۲۰) با قدرت تفکیک مکانی ۱۰ متر و Google Earth، داده‌های ایستگاه‌های هیدرومتری ایستی‌سو (آب‌گرم) و فیروزآباد و داده‌های ایستگاه‌های سینوپتیک خلخال و فیروزآباد. به منظور تجزیه و تحلیل داده‌ها از نرم‌افزارهای ArcGIS همراه با الحاقی HEC-GeoRAS، HEC-RAS و ENVI بهره گرفته شد. در راستای ارزیابی مورفولوژیکی مجرای رودخانه گیوی‌چای از شاخص‌های ژئومورفومتریکی و برای ارزیابی خطر سیلاب از مدل HEC-RAS به همراه اکستنشن HEC-GeoRAS استفاده به عمل آمد.

شاخص‌های مورد استفاده برای ارزیابی مورفولوژی مجرای رودخانه

در راستای کمّی‌سازی پلان‌فرم یا شکل مسطحاتی مجرای رودخانه گیوی‌چای از دو شاخص ضریب خمیدگی و زاویه مرکزی کورنیس استفاده به عمل آمد. ضریب خمیدگی یا سینوسیته برای هر خم مئاندر مطابق رابطه زیر محاسبه می‌شود (مقصودی و همکاران، ۱۳۸۹ و رضایی مقدم و همکاران، ۱۳۹۱):

$$S = \frac{L}{\lambda / 2}$$ رابطه (۱)

در رابطه بالا S : ضریب خمیدگی یا سینوسیته، L : طول قوس یا خم مئاندر و $\lambda / 2$ نصف طول موج می‌باشد. افزون بر این، زاویه مرکزی قوس‌ها مطابق رابطه زیر مورد محاسبه قرار می‌گیرد:

$$A=\frac{180L}{R\pi}$$ رابطه (۲)

که در آن A : زاویه مرکزی، R : شعاع دایره برازش شده و π عدد پی (۳/۱۴) است.

همچنین روش ترانسکت[1] جزو رویکردهایی به‌شمار می‌رود که برای ارزیابی تغییرات و جابجایی‌های عرضی رخداده در مجرای رودخانه‌ها به کار بسته می‌شود (رضایی مقدم و همکاران، ۱۳۹۵). در این روش دو خط در سمت راست و سمت چپ مجرای رودخانه ترسیم می‌گردد. خطوط ترسیمی برای همه دوره‌های زمانی ثابت باقی می‌مانند و به‌واقع به عنوان خطوط مبنایی محسوب می‌گردند که تغییرات مجرا نسبت به آنها سنجیده می‌شود. این روش رویکردی ساده به‌منظور کمّی‌سازی تغییرات و جابجایی عرضی کانال رودخانه‌ها به‌شمار می‌رود. این روش می‌تواند برای ارزیابی میزان فرسایش و رسوب‌گذاری رودخانه نیز مورد استفاده قرار گیرد.

پهنه‌بندی خطر سیلاب با استفاده از مدل هیدرولیکی HEC-RAS و HEC-GeoRAS

در این تحقیق به منظور شبیه‌سازی جریان در مجرا و دشت سیلابی از مدل HEC-RAS بهره گرفته شد. مدل HEC-RAS محاسبات پروفیل سطح آب را برای جریان پایدار متغیر تدریجی در رودخانه‌ها و کانال‌های مصنوعی در رژیم‌های جریان زیربحرانی، فوق بحرانی و مختلط می‌تواند انجام دهد. محاسبه پروفیل سطح آب با شروع از یک مقطع عرضی به‌طرف مقاطع دیگر به‌وسیله حل معادله انرژی به روش استاندارد گام‌به‌گام انجام می‌شود. معادله انرژی به‌صورت زیر است (مرکز مهندسی هیدرولوژی، ۲۰۱۰):

$$Z_1+Y_1+a_1\frac{V_1^2}{2g}=Z_2+Y_2+a_2\frac{V_2^2}{2g}+h_e$$ رابطه (۳)

Z : ارتفاع بستر، Y : عمق آب، V : سرعت متوسط، α : ضریب تصحیح بار سرعت، h_e : افت انرژی کل و g : شتاب ثقل.

همچنین معادله مومنتم موجود در مدل HEC -RAS به‌صورت زیر محاسبه می‌شود (برونر[2]، ۲۰۱۰):

$$\frac{Q_2^2\beta_2}{gA_2}+A_2\overline{y}_2+\left(\frac{A_1+A_2}{2}\right)LS_0-\left(\frac{A_1+A_2}{2}\right)L\overline{S}_f=\frac{Q_1^2\beta_1}{gA_1}+A_1\overline{y}_1$$ رابطه (۴)

β: ضریب تصحیح مومنتوم، $\overline{y}$: عمق اندازه‌گیری شده از سطح آب تا مرکز ثقل سطح مقطع جریان ، A : مساحت منطقه‌ی مرطوب زیر مقطع عرضی، S : شیب کانال، L : فاصله بین مقاطع و Q: جریان دبی.

هرگونه شبیه‌سازی مطلوب سیلاب مستلزم نمایش مناسب مشخصه‌ها و هندسه کانال و دشت سیلابی می‌باشد. در این رابطه، اکستنشن HEC-GeoRAS مجموعه‌ای از ابزارها و عملکردها را در محیط نرم‌افزار ArcGIS در اختیار قرار می‌دهد که به‌منظور پیش‌پردازش و آماده‌سازی داده‌های ورودی مکانی و هندسی مدل HEC-RAS و همچنین به منظور پردازش خروجی‌های آن، به همین ترتیب، آماده‌سازی نقشه‌های سیلاب برمبنای محاسبات پروفیل سطح آب مورد استفاده واقع می‌شود. در این چارچوب، مجموعه‌ای از لایه‌ها شامل: خط مرکزی رودخانه، خطوط مرکزی مسیر جریان، کناره‌های مجرای اصلی، خطوط مقاطع عرضی، کاربری اراضی (برای مقادیر n مانینگ)، امتداد خاکریزها، سطوح جریان غیر موثر، موانع انسدادی، پل‌ها یا کالورت‌ها، سازه‌های داخل جریان، سازه‌های کناری یا جانبی و سطوح ذخیره می‌توانند

[1] - Transect Method
[2] - Brunner

ایجاد گردند (کامرون و اکرمن[1]، ۲۰۱۰). در پژوهش حاضر تصویر مدل رقومی ارتفاع (DEM) با قدرت تفکیک ۱ متر، تصویر ماهواره‌ای سنتینل و نقشه کاربری اراضی منطقه مبنای استخراج داده‌های فضایی مورد نیاز مدل HEC-RAS به‌شمار می‌روند. با این توضیح که تصویر DEM مربوط به بستر و دشت سیلابی رودخانه مطالعاتی با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی مقیاس ۱:۲۰۰۰ (سازمان آب منطقه‌ای استان اردبیل) تهیه گردید. همچنین توزیع مقادیر n مانینگ منطقه با استفاده از نقشه کاربری اراضی و ضرایب مربوطه در محیط اکستنشن HEC-GeoRAS حاصل گردید. داده‌های جریان برای مدل HEC-RAS مشتمل بر رژیم جریان، اطلاعات دبی، شرایط اولیه و شرایط مرزی است. رژیم جریان به صورت زیربحرانی، فوق بحرانی، یا مختلط مشخص می‌گردد. اطلاعات دبی شامل حداقل یک مقدار جریان در طول هر بازه در شماتیک سیستم رودخانه است. شرایط اولیه و مرزی برحسب ترازهای اولیه سطح آب در بالادست و پایین دست، هیدروگراف جریان، یا منحنی سنجه دبی تعیین می‌شود (مروارد، ۲۰۰۴). در پژوهش حاضر برای محاسبه دبی پیک سیلاب رودخانه گیوی‌چای برای دوره‌های بازگشت مختلف، انواع توابع توزیع متداول شامل توزیع نرمال، لوگ نرمال ۲ پارامتری، لوگ نرمال ۳ پارامتری، گامبل اکسترمال تیپ ۱، پیرسون تیپ ۳ و لوگ پیرسون تیپ ۳ برازش داده شد. با توجه به نمودارهای حاصل شده، توزیع لوگ پیرسون تیپ ۳ به عنوان بهترین توزیع انتخاب گردید. بر این اساس، در جدول (۱) مقادیر دبی‌های پیک به‌ازای دوره‌های بازگشت مختلف ارائه شده است. مقادیر بالاتر دبی‌های پیک ایستگاه فیروزآباد به دلیل موقعیت استقرار این ایستگاه می‌باشد. در محل این ایستگاه علاوه بر مشارکت دبی‌های قسمت‌های بالادست مجرای اصلی رودخانه گیوی‌چای، انشعاب پرآب سنگورچای نیز وارد رودخانه گیوی‌چای می‌شود و درنتیجه، دبی رودخانه افزایش پیدا می‌کند.

جدول ۱: دبی پیک محاسباتی رودخانه گیوی‌چای در ایستگاه‌های هیدرومتری فیروزآباد و ایستی‌سو برای دوره‌های بازگشت مختلف

احتمال وقوع	دور بازگشت (سال)	دبی پیک محاسباتی ایستگاه فیروزآباد (مترمکعب در ثانیه)	دبی پیک محاسباتی ایستگاه ایستی سو (مترمکعب در ثانیه)
۰.۵	۲	۳۵.۰	۲۲.۸
۰.۶۶۷	۳	۵۵.۸	۳۶.۶
۰.۸	۵	۸۷.۷	۵۸.۹
۰.۹	۱۰	۱۴۳.۸	۱۰۱.۶
۰.۹۶	۲۵	۲۴۶.۴	۱۸۸.۴
۰.۹۸	۵۰	۳۵۱.۰	۲۸۶.۹
۰.۹۹	۱۰۰	۴۸۴.۶	۴۲۴.۷
۰.۹۹۵	۲۰۰	۶۵۳.۱	۶۱۵.۷

یافته‌های تحقیق

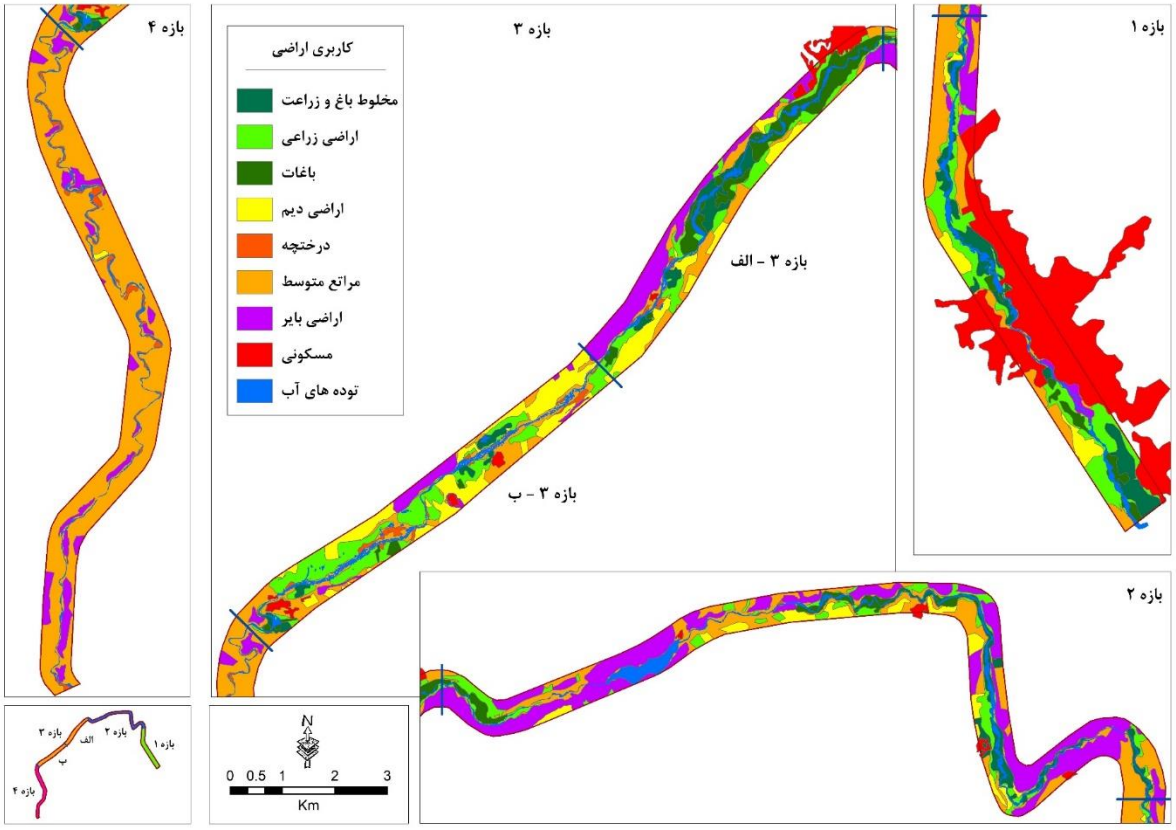
در پژوهش حاضر مجرای رودخانه گیوی‌چای با توجه به متغیرهای ژئومورفولوژیکی به چهار بازه تقسیم‌بندی شد. هر بازه نیز به تعدادی ترانسکت تقسیم‌بندی گردیده و محاسبات در محدوده ترانسکت‌ها صورت گرفت. این بازه‌ها به شرح زیر قابل تفکیک و شناسایی می‌باشند:

- بازه ۱. طول این بازه در حدود ۱۴ کیلومتر است و از محدوده روستای خوجین تا شمال غرب روستای علی‌آباد امتداد می‌یابد. ترانسکت‌های شماره (۱) تا (۱۲) در محدوده این بازه ترسیم شدند.
- بازه ۲. این بازه با طول تقریبی ۲۳ کیلومتر از انتهای بازه اول تا محدوده شهر گیوی امتداد می‌یابد. ترانسکت‌های شماره (۱۳) تا (۳۴) در محدوده این بازه ترسیم شدند.

[1] - Cameron and Ackerman

- بازه ۳. این بازه به طول تقریبی ۲۰ کیلومتر از محدوده شهر گیوی تا شهر فیروزآباد امتداد می‌یابد و شامل ترانسکت‌های شماره (۳۵) تا (۵۰) می‌باشد.
- بازه ۴. این بازه نیز به طول حدود ۲۱ کیلومتر از محدوده شهر فیروزآباد تا مصب رودخانه در محل تلاقی به رودخانه قزل‌اوزن امتداد می‌یابد. ترانسکت‌های شماره (۵۱) تا (۶۲) در محدوده این بازه ترسیم گردیدند.

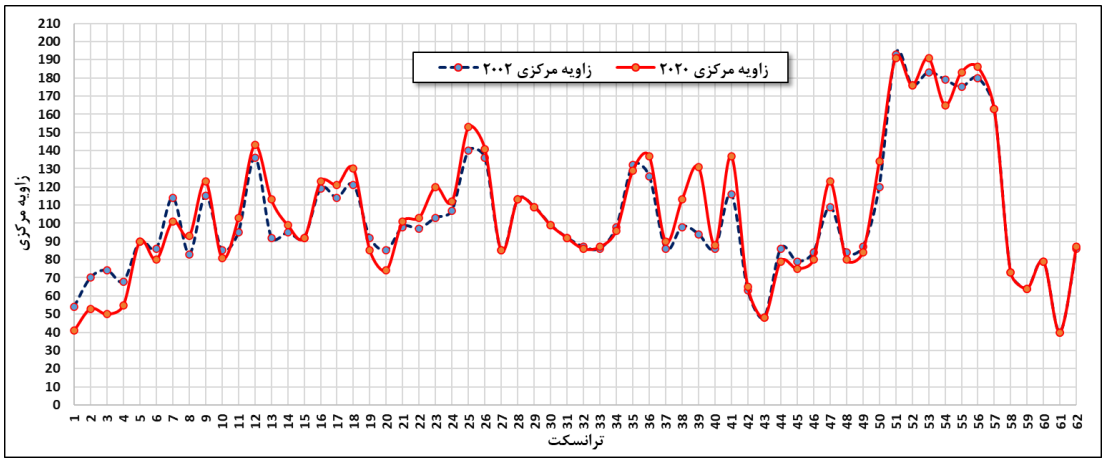
در شکل (۲) بازه‌بندی رودخانه همراه با کاربری اراضی پیرامون رودخانه ارائه شده است.



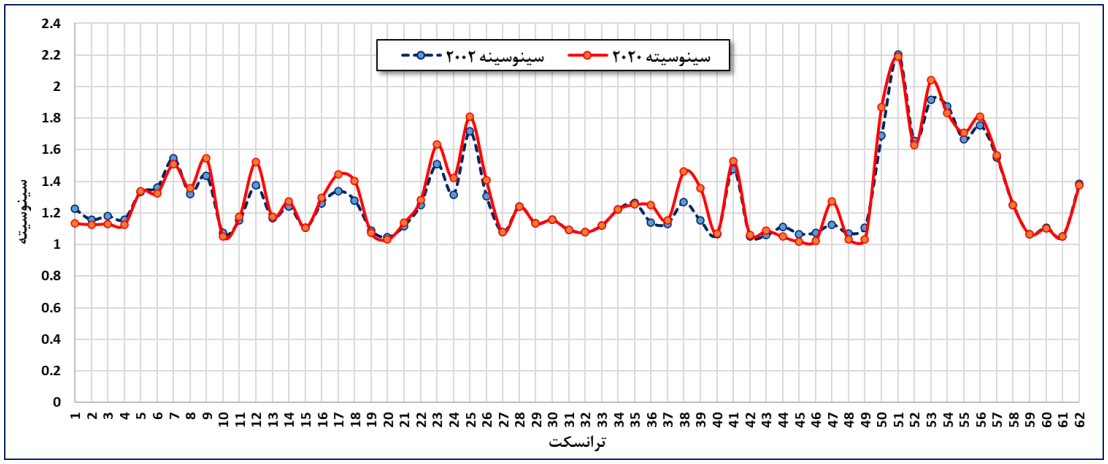
شکل ۲: بازه‌بندی و کاربری اراضی در پیرامون رودخانه گیوی‌چای

ارزیابی پلان‌فرم مجرای رودخانه گیوی‌چای با استفاده از شاخص‌های مورفومتریکی

برای ارزیابی الگو و شکل مسطحاتی مجرای رودخانه گیوی‌چای از دو شاخص ضریب خمیدگی (سینوسیته) و زاویه مرکزی کورنیس استفاده به عمل آمد. شاخص‌های مذکور برای دو دوره زمانی ۲۰۰۲ و ۲۰۲۰ در محدوده ترانسکت‌های ترسیم شده در امتداد هر یک از بازه‌های رودخانه مورد محاسبه قرار گرفتند (شکل‌های ۳ و ۴). میانگین زاویه مرکزی برای کل مجرای رودخانه گیوی‌چای در حدود ۱۰۳/۵ درجه برای سال ۲۰۰۲ و ۱۰۵/۵ درجه برای سال ۲۰۲۰ میلادی محاسبه گردید. بدین ترتیب رودخانه مطالعاتی در طی این دوره زمانی پلان‌فرم یا شکل مسطحاتی خود را تا حد زیادی حفظ نموده است. درواقع پیش‌روی و توسعه مئاندرها در دشت سیلابی و افزایش انحنای رودخانه توسط ایجاد میان‌بر و مستقیم‌تر شدن مجرا جبران شده است. طول رودخانه نیز برای سال ۲۰۰۲ در حدود ۷۷/۱۲ کیلومتر و برای سال ۲۰۲۰ بالغ بر ۷۸/۴۳ کیلومتر محاسبه گردید. در حالت کلی، به میزانی اندک بر انحنا و مئاندرشدگی مجرای رودخانه در طی دوره زمانی ۱۸ ساله افزوده شده است. مقادیر شاخص ضریب خمیدگی نیز یافته‌های مذکور را تایید می‌کند؛ به گونه‌ای که میانگین این شاخص برای سال ۲۰۰۲ بالغ بر ۱/۲۸ و برای سال ۲۰۲۰ بالغ بر ۱/۳۱ محاسبه گردید. در ادامه مقادیر شاخص‌های مذکور به تفکیک بازه‌های چهارگانه رودخانه گیوی‌چای مورد ارزیابی اجمالی قرار می‌گیرد.



شکل ۳: مقادیر زاویه مرکزی در امتداد رودخانه گیوی‌چای در طی سال‌های ۲۰۰۲ و ۲۰۲۰



شکل ۴: مقادیر ضریب خمیدگی (سینوسیته) در امتداد رودخانه گیوی‌چای در طی سال‌های ۲۰۰۲ و ۲۰۲۰

در بازه (۱) یعنی محدوده ترانسکت‌های شماره (۱) تا (۱۲) میانگین زاویه مرکزی برای سال ۲۰۰۲ بالغ بر ۸۹/۲ درجه و برای سال ۲۰۲۰ بالغ بر ۸۴/۴ درجه محاسبه گردید. مقادیر میانگین ضریب خمیدگی نیز برای هر دو دوره زمانی در حدود ۱/۸ حاصل گردید. کم‌ترین میزان شاخص زاویه مرکزی با مقادیر ۵۴ درجه (سال ۲۰۰۲) و ۴۱ درجه (سال ۲۰۲۰) مربوط به ترانسکت شماره (۱) و بیشترین میزان شاخص مذکور با مقادیر ۱۳۶ درجه (سال ۲۰۰۲) و ۱۴۳ درجه (سال ۲۰۲۰) مربوط به ترانسکت شماره (۲) می‌باشد. در محدوده ترانسکت‌های شماره ۵، ۷، ۹، ۱۱ و ۱۲ زاویه مرکزی با مقادیر بیش از ۹۰ درجه برای هر دو دوره زمانی در طبقه مئاندری توسعه یافته قرار می‌گیرد. رودخانه مطالعاتی در سایر ترانسکت‌های این بازه در طبقه مئاندری توسعه نیافته جای می‌گیرد. یکی از دلایل اساسی پایین بودن و کاهش زاویه مرکزی در این بازه در ارتباط با دخالت‌های عامل انسانی می‌باشد. در واقع، به دلیل دخالت‌های عامل انسانی و تثبیت و پایدارسازی کناره‌های رودخانه، مئاندرها از توسعه بیشتر بازمانده‌اند.

پلان‌فرم مجرای رودخانه در بازه (۲) در اکثر ترانسکت‌ها جزو مئاندرهای توسعه یافته می‌باشد. میانگین زاویه مرکزی بازه (۲) در حدود ۱۰۲/۷ درجه برای سال ۲۰۰۲ و ۱۰۶/۱ درجه برای سال ۲۰۲۰ محاسبه گردید. همچنین مقادیر ضریب خمیدگی در امتداد این بازه برای سال‌های ۲۰۰۲ و ۲۰۲۰ به ترتیب در حدود ۱/۲۲ و ۱/۲۶ می‌باشد. بدین ترتیب در بازه مذکور مقادیر این دو شاخص در طی ۱۸ ساله گذشته افزایشی اندک را نشان می‌دهد. با افزایش مقادیر انحنا طول رودخانه نیز افزایش یافته است؛ به گونه‌ای که طول رودخانه برای این بازه از ۲۲/۸۶ کیلومتر در سال ۲۰۰۲ به ۲۳/۲۱ کیلومتر در

سال ۲۰۲۰ افزایش یافته است. افزایش مقادیر دو شاخص زاویه مرکزی و ضریب خمیدگی عمدتا در ترانسکت‌های نیمه شرقی بازه مذکور، مخصوصا ترانسکت‌های شماره ۱۶، ۱۷، ۱۸ و ۲۳ اتفاق افتاده است. در محدوده ترانسکت‌های مذکور عرض دشت سیلابی افزایش پیدا کرده و بدین ترتیب شکل‌گیری و توسعه مئاندرها امکان‌پذیر شده است. با این حال، عرض دشت سیلابی به گونه‌ای است که توسعه مئاندرها در نتیجه برخوردار به واحد کوهستان با مانع روبرو می‌شود. در نیمه غربی بازه مطالعاتی، یعنی ترانسکت‌های شماره ۲۷ تا ۳۴ عرض دره بسیار محدود بوده و تغییری در الگو یا پلان‌فرم مجرای رودخانه در طی دوره زمانی ۱۸ ساله اتفاق نیفتاده است. در واقع، مقادیر زاویه مرکزی و ضریب خمیدگی این محدوده در طی دو دوره زمانی ۲۰۰۲ و ۲۰۲۰ دچار تغییر نشده و برای ترانسکت‌های ترسیمی بین ۸۵ تا ۱۱۳ درجه متغیر است. مئاندرهای این قسمت از بازه (۲) جزو مئاندرهای محصور می‌باشند و بدین ترتیب این قسمت از رودخانه گیوی‌چای از نظر تغییرات جانبی و دینامیک عرضی جزو پایدارترین قسمت‌های رودخانه به شمار می‌رود.

بازه (۳) از نظر وضعیت ژئومورفولوژیکی تفاوت‌های زیادی با سایر بازه‌های رودخانه گیوی‌چای دارد. در این بازه عرض دره و دشت سیلابی افزایش قابل توجهی نسبت به بازه‌های بالادست و پایین دست دارد و درنتیجه از پتانسیل تغییرات مورفولوژیکی زیادی برخوردار است. الگوی رودخانه در این بازه نیز همانند سایر بازه‌های رودخانه گیوی‌چای از نوع مئاندری توسعه یافته است. با این حال، در بخش‌هایی از این بازه الگوی مئاندری توسعه نیافته یا شبه‌مئاندری نیز نمود بارزی یافته است. میانگین زاویه مرکزی مجرای رودخانه گیوی‌چای در امتداد بازه (۳) در حدود ۹۳/۶ درجه برای سال ۲۰۰۲ و ۹۹/۶ درجه برای سال ۲۰۲۰ می‌باشد. میانگین ضریب خمیدگی برای دو دوره زمانی مذکور نیز به ترتیب ۱/۱۸ و ۱/۲۲ محاسبه گردید. بدین ترتیب افزایشی در مقادیر این شاخص در امتداد این بازه در طی دوره زمانی ۱۸ سال گذشته اتفاق افتاده است. افزون بر این، طول رودخانه در این بازه از ۱۹/۸۱ کیلومتر در سال ۲۰۰۲ به ۲۰/۴۵ کیلومتر افزایش یافته است. مقادیر زاویه مرکزی برای ترانسکت‌های شماره ۳۵، ۳۶، ۴۱، ۴۷، ۵۰ و ترانسکت ۳۹ (برای سال ۲۰۲۰) بیشتر از ۱۰۰ درجه و برای سایر ترانسکت‌ها کمتر از ۱۰۰ درجه می‌باشد. ترانسکت‌های با مقادیر زاویه مرکزی بیشتر از ۱۰۰ درجه در نیمه شرقی بازه مطالعاتی (به استثنای ترانسکت شماره ۵۰) واقع شده‌اند. نکته جالب توجه در ارتبط با مقادیر زاویه مرکزی و ضریب خمیدگی در ترانسکت‌های شماره ۴۲ تا ۴۶ می‌باشد. در این محدوده علی‌رغم عرض قابل توجه دشت سیلابی و آزادی عمل رودخانه، الگوی مئاندری توسعه یافته‌ای شکل نگرفته است. مقادیر زاویه مرکزی در محدوده ترانسکت‌های مذکور بین ۴۸ تا ۸۶ درجه متغیر است. در این رابطه، مطابق مشاهدات میدانی و تصاویر ماهواره‌ای می‌توان دلایل متعددی را برای عدم توسعه مئاندرها در این محدوده ذکر کرد. یکی از دلایل اساسی مربوط به فرسایش‌پذیری بالای مواد کناره می‌باشد. در رودخانه‌های با مواد کناره و بستر فرسایش‌پذیر معمولا الگوهای گیسوئی شکل می‌گیرند. با این حال، برای این محدوده می‌توان الگویی آستانه‌ای بین مئاندری- گیسوئی تصور نمود. از طرف دیگر در این محدوده چندین انشعاب با بار رسوبی بالا از سمت چپ (جنوب) وارد مجرای رودخانه می‌شود که باعث تمایل جریان به سمت شمال گردیده است. همچنین، در این محدوده آثاری از میان‌برها دیده می‌شود. در این رابطه می‌توان گفت که در طی دوره زمانی گذشته در این محدوده میان‌برهایی شکل گرفته و مسیر رودخانه مستقیم گردیده است. با این حال، توسعه مئاندرها در این محدوده در مرحله آغازین بوده و هنوز به روشنی در پلان‌فرم مجرا منعکس نگردیده است.

در بازه (۴) رودخانه در دره‌ای تنگ و کم‌عرض جریان می‌یابد و مورفولوژی رودخانه در کنترل ساختمان زمین بوده و از تغییرات جانبی محدودی برخوردار می‌باشد. در این بازه، علی‌رغم عرض محدود دره، الگوی رودخانه از نوع مئاندری توسعه یافته و حتی بیش از حد توسعه یافته می‌باشد. میانگین زاویه مرکزی در این بازه برای سال ۲۰۰۲ و ۲۰۲۰ به ترتیب بالغ بر ۱۳۲/۶ و ۱۳۳/۲ درجه می‌باشد. ضریب خمیدگی نیز برای هر دو دوره زمانی در حدود ۱/۵ می‌باشد. بالاترین میزان زاویه مرکزی در امتداد این بازه (و حتی کل رودخانه گیوی‌چای) با مقدار ۱۹۳ درجه مربوط به ترانسکت شماره ۵۱ می‌باشد. ترانسکت‌های شماره ۵۲ تا ۵۷ نیز دارای مقادیر زاویه مرکزی بیش از ۱۶۰ درجه می‌باشند و بدین ترتیب جزو رودخانه‌های

با الگوی مئاندری بیش از حد توسعه یافته می‌باشند. با این حال، مئاندرهای این بازه از نوع مئاندرهای محصور بوده و از دینامیک جانبی محدودی برخوردارند. از ترانسکت شماره ۵۸ الگوی رودخانه به صورت ناگهانی تبدیل به شبه‌مئاندری یا مئاندری توسعه نیافته می‌شود. این الگو تا مصب رودخانه (محل پیوستن به رودخانه قزل‌اوزن) ادامه می‌یابد. در حالت کلی، این بازه از رودخانه (به همراه نیمه غربی بازه ۲) از نظر دینامیک عرضی پایدار است.

ارزیابی تغییرات عرضی مجرای رودخانه گیوی‌چای با استفاده از روش ترانسکت

در این بخش به ارزیابی تغییرات جانبی مجرای رودخانه گیوی‌چای از سال ۲۰۰۲ تا ۲۰۲۰ میلادی با استفاده از روش ترانسکت پرداخته می‌شود. در شکل (۵) مقادیر تغییرات در محدوده هر ترانسکت ارائه شده است. بر این اساس میانگین تغییرات در کل امتداد رودخانه گیوی‌چای بالغ بر ۰/۱۹۹ هکتار می‌باشد.

میانگین مقادیر شاخص ترانسکت در بازه (۱) در حدود ۰/۵۷۹ هکتار است. بدین معنی که در طی ۱۸ سال گذشته در محدوده این بازه به طور میانگین ۰/۵۷۹ هکتار از اراضی دچار فرسایش شده‌اند. مجموع مساحت اراضی فرسایش یافته در محدوده این بازه در طی دوره زمانی ۲۰۰۲ تا ۲۰۲۰ بالغ بر ۶/۹۵ هکتار می‌باشد. کمترین مقدار تغییرات با حدود ۰/۰۳۶ هکتار در محدوده ترانسکت شماره (۵) اتفاق افتاده است. ترانسکت مذکور منطبق بر محدوده شهر خلخال می‌باشد که کناره‌های رودخانه تا حد زیادی پایدار و تثبیت شده‌اند. بیشترین میزان تغییرات با حدود ۱/۹۵۸ هکتار در محدوده ترانسکت شماره (۸) اتفاق افتاده است. مقادیر بالاتر تغییرات در محدوده این ترانسکت در ارتباط با توسعه مئاندرها و همچنین وقوع یک میان‌بر شوت می‌باشد. میان‌بُر شوت[1] از طریق برش سراسری قسمتی از پشته نقطه‌ای ایجاد می‌شود. درواقع، میان‌بری که در گلوگاه یک مئاندر بوجود نیاید میان‌بر شوت نامیده می‌شود. میان‌برهای شوت نسبت به میان‌بُرهای گلوگاهی[2] انحراف‌های جریان طولانی‌تری هستند. اندازه یک شوت به تدریج می‌تواند در طی سیلاب‌های متوالی افزایش یابد تا زمانی که تمامی آب را حمل کند. به طور کلی، میان‌برهای شوت به عنوان درجه‌ای از افزایش گیسوئی شدن به‌شمار می‌روند (خیری‌زاده، ۱۳۹۵: ۳۷) و نوعی رفتار آستانه‌ای (آستانه گذر از الگوی مئاندری به الگوی گیسوئی) محسوب می‌شوند. در حالت کلی، میزان تغییرات جانبی مجرای رودخانه گیوی‌چای در محدوده بازه (۱) علی‌رغم وجود دشت سیلابی توسعه یافته و مواد کناره فرسایش‌پذیر (متشکل از آبرفت‌های کواترنری) مقادیر نسبتا پایینی را نشان می‌دهد. این امر در ارتباط با استقرار شهر خلخال و کانالیزه نمودن مجرای رودخانه می‌باشد. با این حال، بخش‌هایی از نیمه غربی باره مذکور از تغییرات عرضی نسبتا زیادی برخوردار می‌باشد که در ارتباط با کاهش دخالت‌های عامل انسانی و افزایش دبی رودخانه به دلیل مشارکت دبی انشعابات می‌باشد. مقادیر حاصل از شاخص ترانسکت انطباق بالایی را با نتایج حاصل از شاخص‌های زاویه مرکزی و ضریب خمیدگی نشان می‌دهد. مقادیر بالاتر شاخص ترانسکت در برخی از مقاطع را می‌توان به توسعه و پیش‌روی مئاندرها و یا وقوع میان‌بر شوت نسبت داد.

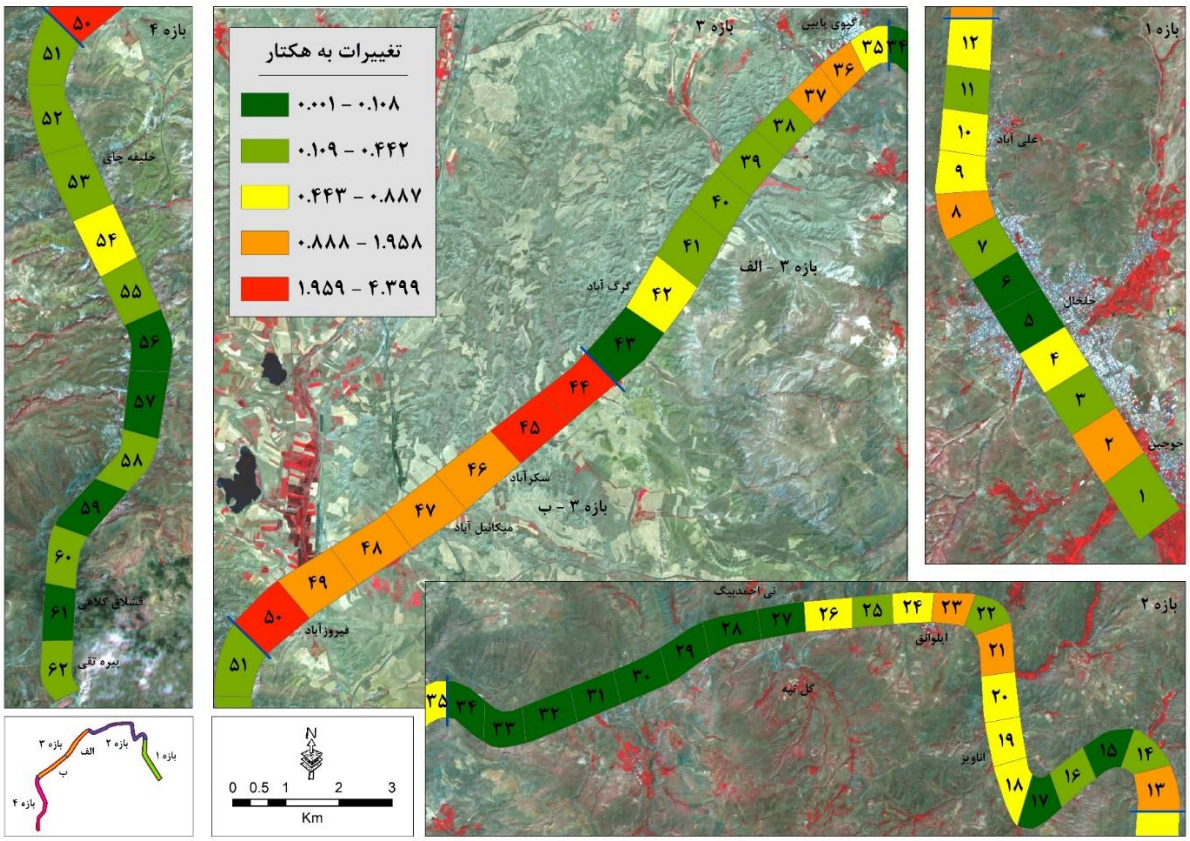
در بازه (۲) میانگین تغییرات در حدود ۰/۴۰۶ هکتار می‌باشد. در محدوده این بازه در طی ۱۸ سال گذشته بالغ بر ۸/۹۳۹ هکتار از اراضی در نتیجه فرایندهای فرسایشی رودخانه از دسترس خارج شده‌اند. کمترین میزان تغییرات با مقادیر صفر یا نزدیک به صفر در ترانسکت‌های شماره (۲۷) تا (۳۴) مشاهده می‌گردد. در این محدوده دره رودخانه بسیار تنگ و کم‌عرض می‌باشد و مجرای رودخانه فضایی برای آزادی عمل و تحرک جانبی در اختیار ندارد. علاوه بر این، لیتولوژی کناره‌ها منطبق بر واحدهای سنگ‌شناختی آذرین (آندزیت و بازالت) می‌باشد که در مقابل فرایندهای فرسایش رودخانه‌ای از فرسایش‌پذیری اندکی برخوردارند. بدین ترتیب عرض محدود دره و لیتولوژی مقاوم مانعی اساسی در تغییرات جانبی مجرای رودخانه در این قسمت‌ها بوده و درنتیجه جزو قسمت‌های پایدار به شمار می‌روند. بیشترین میزان تغییرات جانبی نیز در محدوده

[1] - Chute
[2] - Neck cutoff

ترانسکت‌ها شماره (۲۱) و (۲۳) با مقادیر ۱/۵۵۴ و ۱/۳۹۰ هکتار قرار گرفته‌اند. در محدوده این ترانسکت‌ها عرض دره افزایش پیدا کرده و دشت سیلابی توسعه پیدا نموده است. بدین ترتیب کناره‌های مجرای رودخانه منطبق بر آبرفت‌های جوان کواترنری می‌باشد که از فرسایش‌پذیری بالایی برخوردارند. در حالت کلی، نیمه شرقی بازه (۲) از تحرک و دینامیک جانبی نسبتا بالایی برخوردار می‌باشد. این امر به دلیل شرایط مساعد ژئومورفولوژیکی از قبیل عرض زیاد دره و دشت سیلابی، فرسایش‌پذیری مواد کناره، دریافت انشعابات مختلف و .... می‌باشد. با این حال، نیمه غربی بازه مذکور به دلیل کنترل متغیرهای زمین‌شناسی از پایین‌ترین میزان تغییرات جانبی برخوردار است.

بازه (۳) پویاترین بازه رودخانه گیوی‌چای از نظر تغییرات و جابجایی‌های عرضی می‌باشد. در محدوده این بازه میانگین تغییرات جانبی مجرا به ۱/۳۱۹ هکتار افزایش پیدا می‌کند. در طی دوره ۱۸ ساله تقریبا ۲۱/۱ هکتار از اراضی پیرامون رودخانه به دلیل فرایندهای فرسایش رودخانه‌ای تخریب شده‌اند. انحراف معیار شاخص ترانسکت در محدوده این بازه به حدود ۱/۱۵ می‌رسد که نشان‌دهنده تغییرپذیری بالای دینامیک عرضی مجرا در محدوده این بازه است. کمترین میزان تغییرات جانبی با مقدار ۰/۰۹۶ هکتار در محدوده ترانسکت شماره (۴۳) و بیشترین میزان تغییرات با مقدار ۴/۳۹۹ هکتار در محدوده ترانسکت شماره (۴۴) اتفاق افتاده است. بدین ترتیب در محدوده دو ترانسکت مجاور کمترین و بیشترین میزان تغییرات جانبی رخ داده است. نیمه غربی بازه (۳) یعنی ترانسکت‌های شماره (۴۴) تا (۵۰) از بیشترین میزان تغییرات جانبی در کل امتداد رودخانه گیوی‌چای برخوردارند. برای تمامی این ترانسکت‌ها میزان تغییرات در محدوده بین ۱/۱۲ تا ۴/۴ هکتار متغیر است. یکی از مهم‌ترین دلایل تغییرات جانبی زیاد در محدوده ترانسکت‌های مذکور در ارتباط با مواد کناره فرسایش‌پذیر، عرض زیاد دره و دشت سیلابی، دریافت انشعابات پرآب و دخالت نسبتا کمتر انسان در مورفولوژی این بازه است. در واقع، در این محدوده مواد بستر و کناره‌های رودخانه متشکل از آبرفت‌های جوان کواترنری (ماسه، گراول و رس) می‌باشد که از قابلیت فرسایش بالایی برخوردارند. همچنین در این محدوده به دلیل عرض زیاد دره و اختلاف ارتفاع اندک بستر و سطوح دشت سیلابی مجاور، سیلاب‌ها از شدت عمل زیادی برخوردارند که به‌نوبه خود تغییرات جانبی مجرای رودخانه رو تشدید می‌کنند. در این قسمت، تغییرات عرضی مجرا به صورت پیش‌روی و توسعه مئاندرها، ایجاد میانبرهای شوت و تغییر مسیرهای کوتاه به کرات اتفاق افتاده است. در ترانسکت‌های نیمه شرقی بازه (۳)، یعنی ترانسکت‌های شماره (۳۵) تا (۴۳) نیز مقادیر تغییرات بین ۰/۱ تا ۱/۲ هکتار متغیر است. میانیگن تغییرات عرضی در این ترانسکت‌ها در حدود ۰/۵ هکتار می‌باشد. در حالت کلی بازه (۳) از پتانسیل تغییرات عرضی زیادی برخوردار بوده و لازم است که در مقاطعی با تغییرات شدید مجرا نسبت به کاهش دینامیک عرضی اقدام گردد. این امر می‌تواند در مدیریت ریسک سیلاب نیز سودمند باشد و از پخش سیلاب در گستره‌ای وسیع جلوگیری نماید.

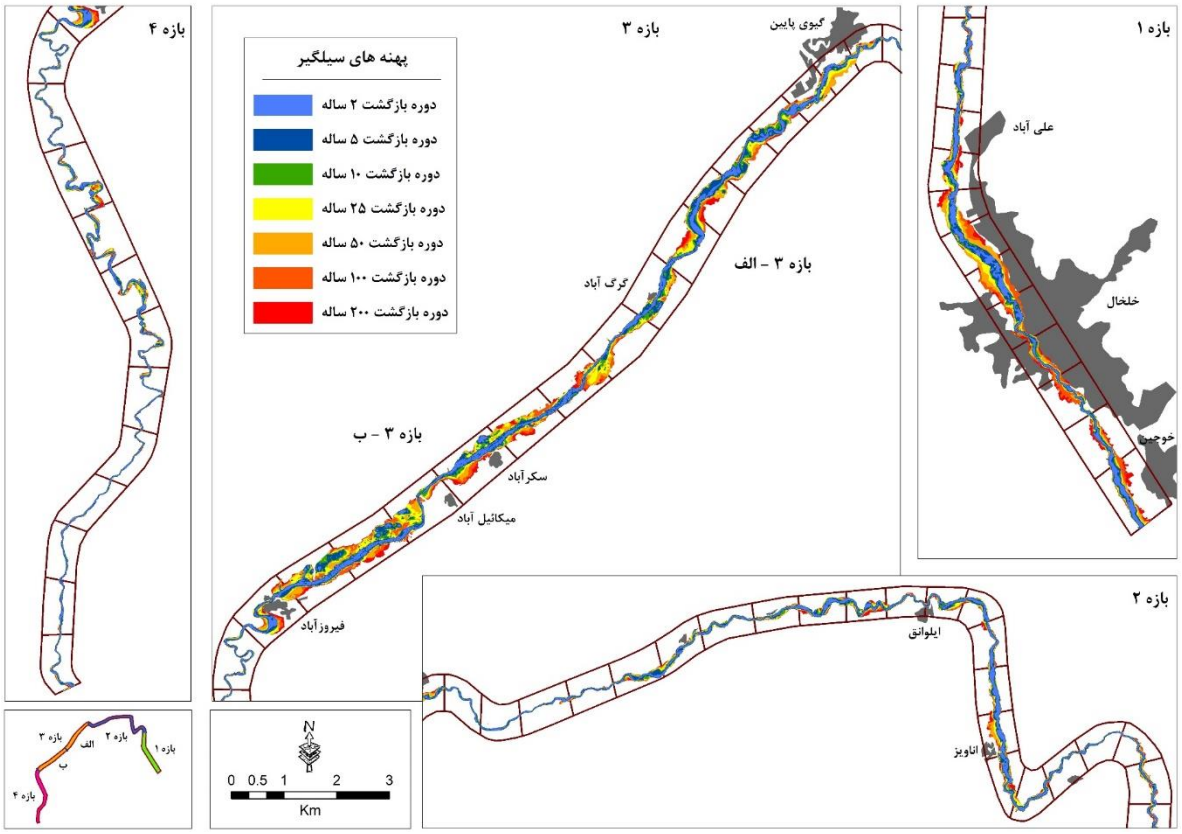
در نهایت، قابل انتظار است که در بازه (۴) کمترین میزان تغییرات عرضی اتفاق بیفتد. در این بازه، مجرای رودخانه در دره‌ای تنگ و کم‌عرض جریان پیدا می‌کند و تنها به صورت محلی عرض دره افزایش پیدا کرده و دشت سیلابی کم‌عرضی در محل آن ایجاد شده است. این بازه از ترانسکت شماره (۵۱) تا (۶۲) امتداد پیدا می‌کند. میانگین تغییرات عرضی مجرا در امتداد این بازه در حدود ۰/۲۴ هکتار می‌باشد. همچنین در طی ۱۸ سال گذشته بالغ بر ۲/۹ هکتار از اراضی واقع در محدوده این بازه فرسایش یافته است. در بازه مذکور سیلاب‌های با دوره بازگشت بیش از ۱۰ سال بخش عمده‌ای از بستر دره را غرقاب می‌کنند و شرایط مساعدی را برای تغییر مسیرهای کوتاه و محلی فراهم می‌نمایند. این شرایط همچنین می‌تواند منجر به رخداد میان‌بر شوت شده که در نهایت باعث مستقیم‌تر مجرای رودخانه می‌گردد. در این بازه، مئاندرهای رودخانه با برخورد به لیتولوژی مقاوم واحد کوهستان از توسعه بیشتر باز می‌مانند. بدین ترتیب، تغییرات در این بازه بسیار محدود بوده و پایدارترین بازه رودخانه گیوی‌چای به شمار می‌رود.



شکل ۵- تغییرات عرضی مجرای رودخانه گیوی‌چای از سال ۲۰۰۲ تا ۲۰۲۰ میلادی در امتداد ترانسکت‌های ترسیمی

ارزیابی پهنه‌های سیل‌گیر رودخانه گیوی‌چای

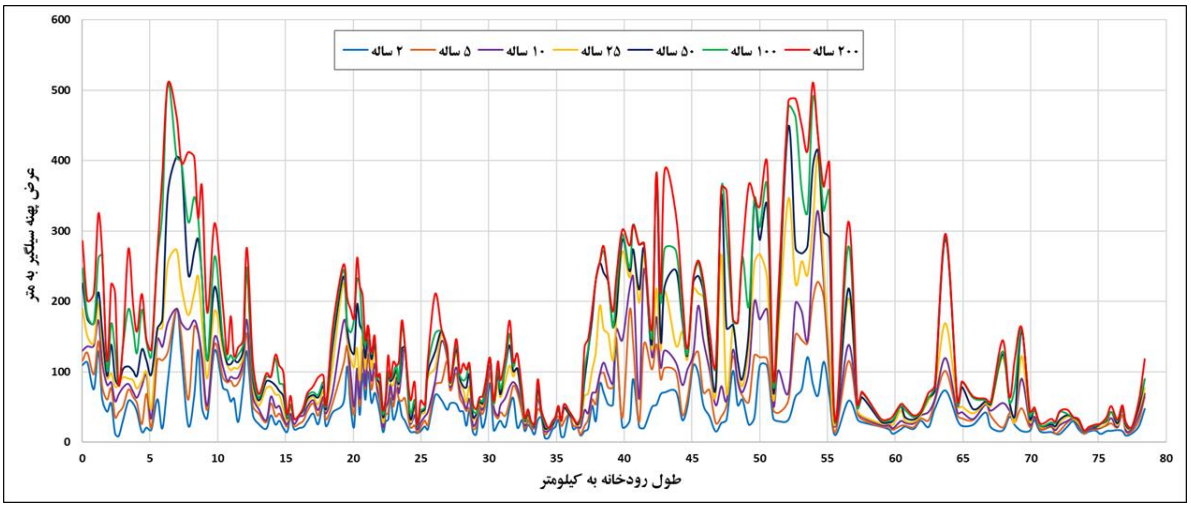
در پژوهش حاضر برای شبیه‌سازی سیلاب رودخانه گیوی‌چای از مدل هیدرودینامیکی HEC-RAS استفاده شد. در شکل (۶) پهنه‌های سیل‌گیر برای دوره‌های بازگشت مختلف به صورت تجمعی ارائه شده است.



شکل ۶: پهنه‌های سیل‌گیر رودخانه گیوی‌چای به ازای دوره‌های بازگشت مختلف (به صورت تجمعی)

بر اساس نقشه پهنه‌بندی سیلاب (شکل ۶) مساحت پهنه‌های سیل‌گیر با دوره بازگشت ۲ ساله در امتداد رودخانه گیوی‌چای درحدود ۲۷۹ هکتار و میانگین عرض آن درحدود ۴۰ متر است. این پهنه‌ها عمدتا منطبق بر بستر رودخانه بوده که به صورت محلی اراضی حاشیه مجرا را نیز در برمی‌گیرند. این‌گونه سیلاب‌ها خطری را متوجه جوامع انسانی ساکن در منطقه نمی‌سازند. با این حال، به دلیل تناوب و پتانسیل بالا برای شکل‌دهی پلان‌فرم، از اهمیت زیادی در شکل‌گیری و تغییرات مورفولوژیکی مجرای رودخانه برخوردارند. مساحت پهنه‌های سیل‌گیر ۵ ساله درحدود ۴۱۹ هکتار و عرض پهنه‌های سیل‌گیر آنها بالغ بر ۵۹ متر می‌باشد. این سیلاب‌ها به صورت محلی می‌توانند اراضی کشاورزی واقع در مجاورت مجرای رودخانه را تحت تاثیر قرار دهند. این امر مخصوصا در بازه‌های (۱) و (۲) از نمود بیشتری برخوردار است. حدود ۴۳ هکتار از اراضی زراعی، ۴۶ هکتار از باغات و ۵۷ هکتار از اراضی ترکیبی باغ- زراعت در معرض این سیلاب‌ها هستند. این سیلاب‌ها نیز خطری را متوجه سکونتگاه‌های منطقه نمی‌سازند. اثرات این سیلاب‌ها می‌تواند به صورت فرسایش کناره و پیش‌روی مئاندرها مورد توجه قرار گیرد. سیلاب‌های با دور بازگشت ۱۰ ساله بالغ بر ۵۲۱ هکتار از بستر و اراضی مجاور رودخانه گیوی‌چای را تحت تاثیر قرار می‌دهند. میانگین عرض پهنه‌های سیل‌گیر در امتداد رودخانه گیوی‌چای برای این سیلاب‌ها در حدود ۷۶ متر می‌باشد. این سیلاب‌ها می‌توانند اراضی کشاورزی مجاور مجرای رودخانه و قسمت‌هایی از اراضی مسکونی و ساخته شده را تحت تاثیر قرار دهند. در حدود ۱/۶ هکتار از اراضی مسکونی و ساخته شده، ۶۷ هکتار از اراضی زراعی، ۶۶ هکتار از باغات و ۷۹ هکتار از اراضی ترکیبی باغ- زراعت در معرض این سیلاب‌ها قرار دارند. اثرات این سیلاب‌ها در بازه‌های (۱) و (۳) قابل توجه‌تر می‌باشد. مساحت پهنه‌های سیل‌گیر برای سیلاب‌های با دوره بازگشت ۲۵ سال به ۶۶۵ هکتار و عرض آن به طور میانگین به ۱۰۱ متر افزایش می‌یابد. این افزایش مخصوصا در بازه‌های (۱) و (۳) اتفاق می‌افتد. این امر در ارتباط با ژئومورفولوژی منطقه می‌باشد؛ در واقع، تنها در بازه‌های (۱) و (۳) عرض دره و دشت سیلابی به

اندازه‌ای است که می‌تواند توسط سیلاب‌های با دوره بازگشت ۲۵ سال و بالاتر تحت تاثیر قرار گیرد. سیلاب‌های با دوره بازگشت ۲۵ ساله می‌توانند مساحتی بالغ بر ۳/۶ هکتار از اراضی مسکونی و ساخته شده (جاده‌ها و غیره)، ۱۱۲ هکتار از اراضی زراعی، ۹۴ هکتار از باغات و ۱۰۸ هکتار از اراضی ترکیبی باغ- زراعت را تحت تاثیر قرار دهند. این سیلاب‌ها می‌توانند باعث آب‌گرفتگی بخش‌هایی از شهر خلخال در مجاورت رودخانه گیوی‌چای شوند. محدوده اثرگذاری سیلاب‌های با دوره بازگشت ۵۰ ساله به حدود ۷۹۳ هکتار و عرض آنها به حدود ۱۲۱ متر افزایش پیدا می‌کند. این افزایش مساحت و عرض در بازه‌های (۱) و مخصوصا (۳) بسیار قابل توجه بوده و در بازه‌های (۲) و (۴) اندک و قابل چشم‌پوشی می‌باشد. در بازه‌های (۱) و (۳) این سیلاب‌ها می‌توانند اراضی کشاورزی قابل توجهی را غرقاب نموده و برخی از مناطق مسکونی (مخصوصا بخش‌هایی از شهر خلخال در مجاورت رودخانه گیوی‌چای) را دچار خسارت ساخته و حتی تلفات جانی نیز در پی داشته باشند. در حدود ۷ هکتار از مناطق مسکونی، ۱۵۹ هکتار از اراضی زراعی، ۱۲۰ هکتار از باغات و ۱۳۵ هکتار از اراضی ترکیبی باغ- زراعت در امتداد رودخانه گیوی‌چای در معرض این سیلاب‌ها قرار دارند. این امر برای سیلاب‌های با دوره بازگشت بالاتر نیز صادق است. در این رابطه، مساحت اراضی تحت تاثیر سیلاب‌های ۱۰۰ و ۲۰۰ ساله در امتداد رودخانه گیوی‌چای به ترتیب بالغ بر ۹۱۲ و ۱۰۰۸ هکتار می‌باشد. میانگین عرض این پهنه‌ها نیز به ترتیب به حدود ۱۳۹ و ۱۵۴ افزایش پیدا می‌کند. این سیلاب‌ها نیز عمدتا بازه‌های (۱) و (۳) را تحت تاثیر قرار می‌دهند. این‌گونه سیلاب‌ها به دلیل دبی بالا و مشارکت دبی‌های انشعابات مختلف می‌توانند بخش عمده‌ای از مساحت دشت سیلابی رودخانه را تحت تاثیر قرار دهند و علاوه بر خسارات جانی و مالی و تخریب اراضی کشاورزی پیامدهای مورفولوژیکی متعددی از قبیل تغییر مسیرهای کوتاه، میان‌برها و غیره را به‌همراه داشته باشند. سیلاب‌های با دوره بازگشت ۱۰۰ و ۲۰۰ سال به ترتیب بالغ بر ۱۴ و ۱۸ هکتار از مناطق مسکونی موجود در امتداد رودخانه گیوی‌چای را تحت تاثیر قرار می‌دهند. همچنین بالغ بر ۴۹۴ هکتار از اراضی کشاورزی فاریاب منطقه در معرض سیلاب‌های با دوره بازگشت ۱۰۰ ساله و بالغ بر ۵۶۳ هکتار از آنها در معرض سیلاب‌های با دوره بازگشت ۲۰۰ ساله قرار دارند. در شکل (۷) عرض پهنه‌های سیل‌گیر در مقاطع مختلف رودخانه و در جدول (۲) مساحت پهنه‌های در معرض سیلاب انواع کاربری‌ها در امتداد رودخانه گیوی‌چای ارائه شده است.



شکل ۷: عرض پهنه‌های سیل‌گیر با دوره بازگشت‌های مختلف در مقاطع مختلف رودخانه گیوی‌چای

جدول ۲: مساحت کاربری‌های متاثر از سیلاب با دوره‌های بازگشت مختلف در امتداد رودخانه گیوی‌چای

کاربری	سیلاب ۲ ساله	سیلاب ۵ ساله	سیلاب ۱۰ ساله	سیلاب ۲۵ ساله	سیلاب ۵۰ ساله	سیلاب ۱۰۰ ساله	سیلاب ۲۰۰ ساله
مسکونی	۰.۰	۰.۰	۱.۶	۳.۶	۷.۱	۱۴.۰	۱۷.۹
اراضی زراعی	۱۷.۲	۴۳.۱	۶۷.۲	۱۱۲.۰	۱۵۸.۸	۲۰۰.۲	۲۳۴.۱
باغات	۱۷.۶	۴۵.۷	۶۵.۹	۹۴.۴	۱۲۰.۰	۱۳۸.۰	۱۵۴.۷
مخلوط باغ و زراعت	۲۳.۷	۵۷.۰	۷۹.۰	۱۰۷.۷	۱۳۵.۲	۱۵۶.۰	۱۷۴.۵
اراضی دیم	۱.۱	۵.۱	۸.۳	۱۱.۴	۱۵.۲	۲۳.۳	۲۷.۷
مراتع متوسط	۸۳.۱	۱۱۳.۰	۱۳۲.۳	۱۵۴.۱	۱۶۷.۱	۱۸۰.۷	۱۹۳.۷
پوشش درختچه	۲۱.۳	۳۱.۵	۳۷.۷	۴۶.۷	۵۲.۵	۵۷.۶	۶۰.۵
اراضی بایر	۷.۸	۱۱.۲	۱۴.۴	۱۷.۷	۱۹.۵	۲۲.۶	۲۴.۵

در ادامه، پهنه‌های سیل‌گیر هر یک از بازه‌ها به تفکیک مورد ارزیابی قرار می‌گیرند. در این رابطه، عوامل موثر بر سیل‌گیری هر یک از بازه‌ها و همچنین کاربری‌های آسیب‌پذیر مورد ارزیابی قرار می‌گیرند.

ارزیابی سیلاب رودخانه گیوی‌چای در بازه (۱)

در جدول (۳) مساحت کاربری‌های متاثر از سیلاب با دوره‌های بازگشت مختلف در امتداد بازه (۱) ارائه شده است. مساحت پهنه‌های سیل‌گیر ۲ ساله در محدوده این بازه در حدود ۳۳ هکتار و عرض پهنه‌های سیل‌گیر نیز به طور متوسط بالغ بر ۶۰ متر می‌باشد. کمترین عرض سیل‌گیری به شعاع تقریبی ۹ تا ۱۳ متر در محدوده ترانسکت شماره (۲) و بیشترین عرض سیل‌گیری با شعاعی بالغ بر ۱۸۰ متر در محدوده ترانسکت شماره (۷) دیده می‌شود. این گستره سیل‌گیری در بیشتر مقاطع منطبق بر بستر رودخانه گیوی‌چای می‌باشد. هر چند به صورت محلی، مخصوصا در ترانسکت‌های پایین‌دست شهر خلخال می‌توان شاهد سرریز جریان سیلابی از کناره‌ها و ورود آب به ارضی مجاور رودخانه بود؛ با این حال، این سیلاب‌ها سطحی بوده و گستره زیادی را غرقاب نمی‌سازند. در این بازه، بالغ بر ۲۹ هکتار از اراضی کشاورزی فاریاب شامل ۷ هکتار باغات مثمر، ۷ هکتار اراضی زراعی و ۱۵ هکتار از اراضی ترکیبی باغ- زراعت در معرض سیلاب‌های ۲ الی ۳ ساله می‌باشند. این سطوح مخصوصا در محدوده ترانسکت‌های (۶)، (۷)، (۸) و (۹) در پایین دست شهر خلخال پراکنده شده‌اند. در محدوده تقریبی شهر خلخال سه رودخانه ازنوچای، نورعلی‌چای و قیزباخان‌چای به هم پیوسته و دبی رودخانه افزایش قابل توجهی می‌یابد. همزمانی سیلاب‌های این سه رودخانه می‌تواند حجم زیادی از رواناب‌ها را وارد مجرای اصلی گیوی‌چای نموده و خطرات ناشی از سیلاب را در بازه‌های پایین دست شهر خلخال افزایش دهد. در این بازه، برای سیلاب‌های با دوره بازگشت ۵ ساله مساحت پهنه‌های سیل‌گیر به حدود ۶۱ هکتار و عرض سیل‌گیری به حدود ۹۰ متر افزایش پیدا می‌کند. بالغ بر ۵۴ هکتار از اراضی کشاورزی فاریاب تحت تاثیر این سیلاب‌ها قرار می‌گیرند. با افزایش دوره‌های بازگشت روند صعودی مساحت و عرض پهنه‌های سیل‌گیر در بازه (۱) تداوم می‌یابد. در این رابطه، برای سیلاب‌های با دوره بازگشت ۱۰ ساله پهنه‌های سیلابی به حدود ۷۹ هکتار و میانگین عرض پهنه‌های سیلابی به حدود ۱۰۹ متر افزایش پیدا می‌کند. این افزایش در ترانسکت‌های ابتدایی و انتهایی بازه دارای روند ملایم و در ترانسکت‌های میانی (واقع در پایین دست شهر خلخال) از آهنگ نسبتا تندی برخوردار است. محدود بودن عرض پهنه‌های سیل‌گیر در ترانسکت‌های ابتدایی بازه (۱) به دلیل دبی پایین و در ترانسکت‌های انتهایی بازه به دلیل عرض کم دره و دشت سیلابی مربوطه می‌باشد. در حدود ۲۱ هکتار از اراضی زراعی، ۳۴ هکتار از اراضی مخلوط باغ- زراعت و ۱۳ هکتار از باغات منطقه تحت تاثیر این سیلاب‌ها می‌باشند. از طرف دیگر بالغ بر ۱/۶ هکتار از کاربری مسکونی و ساخته شده نیز در معرض این سیلاب‌ها می‌باشند که به طور عمده منطبق بر باریکه کاربری مسکونی مجاور رودخانه گیوی‌چای در قسمت‌های مرکزی شهر خلخال می‌باشد. بدین ترتیب می‌توان بیان داشت که مخاطرات ناشی از سیلاب‌ها از سیلاب‌های با دوره بازگشت ۱۰ ساله و بالاتر پدیدار می‌شوند. مساحت

پهنه‌های سیل‌گیر بازه اول برای سیلاب‌های با دوره بازگشت ۲۵ ساله به ۱۰۸ هکتار و میانگین عرض سیل‌گیری به حدود ۱۳۶ متر افزایش می‌یابد. در محدوده این بازه بالغ بر ۹۲ هکتار از اراضی کشاورزی فاریاب و حدود ۳/۶ هکتار از کاربری مسکونی و ساخته شده می‌توانند توسط سیلاب‌های رودخانه گیوی‌چای تحت تاثیر قرار گیرند. بدیهی است که مخاطرات ناشی از سیلاب‌های با دوره بازگشت بالاتر در این بازه می‌تواند افزایش قابل توجهی پیدا کند. در این رابطه مساحت پهنه‌های سیل‌گیر برای سیلاب‌های با دوره بازگشت ۵۰ ساله به حدود ۱۴۴ هکتار و میانگین عرض سیل‌گیری به حدود ۱۶۷ متر می‌رسد. در این میان، تقریبا ۱۲۲ هکتار از این پهنه‌ها شامل اراضی کشاورزی فاریاب می‌باشند. علاوه بر این، در حدود ۷ هکتار از کاربری مسکونی و ساخته شده مجاور رودخانه می‌توانند توسط سیلاب‌های با دوره بازگشت ۵۰ ساله تحت تاثیر قرار گیرند که مساحت قابل توجهی بوده و می‌تواند منجر به خسارات جانی و مالی گردد. برای سیلاب‌های با دوره بازگشت ۱۰۰ و ۲۰۰ ساله مساحت پهنه‌های سیل‌گیر به ترتیب به ۱۸۶ و ۲۱۷ هکتار می‌رسد. همچنین میانگین عرض سیل‌گیری در امتداد رودخانه برای این سیلاب‌ها به ترتیب به ۲۰۱ و ۲۳۴ متر بالغ می‌شود. مساحت کاربری‌های کشاورزی فاریاب متاثر از سیلاب‌های ۱۰۰ و ۲۰۰ ساله در حدود ۱۵۵ و ۱۸۰ هکتار و مساحت کاربری‌های مسکونی و ساخته شده به ترتیب بالغ بر ۱۳/۸ و ۱۷/۶ هکتار می‌باشد. بدین ترتیب در طی این سیلاب‌ها سطوح تحت تاثیر سیلاب‌های رودخانه گیوی‌چای در محدوده شهر خلخال افزایش پیدا می‌کند.

جدول ۳: مساحت کاربری‌های متاثر از سیلاب با دوره‌های بازگشت مختلف در بازه (۱)

کاربری	مساحت کاربری		مساحت تحت تاثیر سیلاب به هکتار						
	به هکتار	به درصد	سیلاب ۲ ساله	سیلاب ۵ ساله	سیلاب ۱۰ ساله	سیلاب ۲۵ ساله	سیلاب ۵۰ ساله	سیلاب ۱۰۰ ساله	سیلاب ۲۰۰ ساله
اراضی زراعی	۲۰۶.۰	۲۰.۴	۶.۸	۱۵.۲	۲۰.۵	۳۱.۸	۴۶.۱	۶۲.۷	۷۵.۵
اراضی دیم	۵۲.۴	۵.۲	۰.۰	۰.۱	۰.۱	۰.۲	۰.۳	۰.۴	۱.۱
مخلوط باغ و زراعت	۱۵۴.۸	۱۵.۳	۱۵.۳	۲۷.۹	۳۳.۷	۴۳.۵	۵۶.۷	۶۶.۸	۷۴.۸
باغات	۵۰.۱	۵.۰	۶.۶	۱۰.۹	۱۳.۲	۱۶.۳	۱۹.۸	۲۵.۱	۲۹.۵
مسکونی	۲۷۵.۰	۲۷.۲	۰.۰	۰.۰	۱.۶	۳.۶	۷.۰	۱۳.۹	۱۷.۷
اراضی بایر	۶۷.۳	۶.۷	۲.۱	۳.۷	۵.۲	۶.۹	۷.۸	۹.۸	۱۰.۳
مراتع	۲۰۶.۲	۲۰.۴	۱.۹	۳.۵	۵.۱	۶.۰	۶.۵	۶.۹	۷.۷

ارزیابی سیلاب رودخانه گیوی‌چای در بازه (۲)

در جدول (۴) مساحت کاربری‌های متاثر از سیلاب با دوره‌های بازگشت مختلف در امتداد بازه (۲) ارائه شده است. مساحت پهنه‌های تحت تاثیر سیلاب‌های ۲ ساله بالغ بر ۶۷ هکتار می‌باشد که عمدتا منطبق بر بستر اصلی رودخانه بوده و در برخی از مقاطع به دلیل ارتفاع کم کناره‌ها به دشت سیلابی نیز نفوذ می‌کند. متوسط عرض سیل‌گیری در این بازه نیز در حدود ۳۶ متر می‌باشد. در محدوده ترانسکت‌های شماره (۲۷) تا (۳۴) مساحت و عرض پهنه‌های سیل‌گیر بسیار محدود بوده و به دلیل تنگ و کم‌عرض بودن دره، سیلاب‌ها از امکان پخش در محدوده وسیعی برخوردار نیستند. این درحالی است که در نیمه شرقی این بازه و مخصوصا در محدوده ترانسکت‌های (۱۷)، (۱۸) و (۱۹) مساحت و عرض پهنه‌های سیل‌گیر ارقامی نزدیک به ۱۰۰ متر را نشان می‌دهند. از نظر کاربری‌های آسیب‌پذیر، هیچ پهنه مسکونی در معرض سیلاب‌های ۲ ساله قرار ندارد. با این حال، بالغ بر ۴۹ هکتار از اراضی کشاورزی شامل ۷/۷ هکتار از اراضی زراعی، ۱۳ هکتار از باغات و ۲۷/۹ هکتار از اراضی ترکیبی زراعی- باغی در معرض این سیلاب‌ها قرار دارند. از نظر سیلاب‌های ۵ ساله بالغ بر ۹۵ هکتار از بستر و کناره‌های مجرای رودخانه گیوی‌چای در محدوده بازه (۲) در معرض سیلاب قرار می‌گیرند. بخش قابل توجهی از این پهنه‌ها منطبق بر بستر رودخانه می‌باشد که در مواقع سیلابی زیر آب می‌رود. متوسط عرض سیل‌گیری برای اینگونه سیلاب‌ها در حدود ۵۰ متر می‌باشد. این افزایش مساحت و عرض پهنه‌های سیل‌گیر عمدتا در محدوده ترانسکت‌های

شرقی بازه اتفاق می‌افتد. با توجه به داده‌های عمق آب حاصل از شبیه‌سازی سیلاب با استفاده از مدل HEC-RAS عمق سیلاب برای پهنه‌های خارج از بستر اصلی برای اینگونه سیلاب‌ها نیز اندک بوده و در اکثر مقاطع کمتر از ۲۰ سانتی‌متر می‌باشد و درنتیجه مخاطره جدی را متوجه کاربری‌های موجود در دشت سیلابی نمی‌سازند. در این رابطه، کاربری‌های مسکونی بازه مصون از سیلاب‌های با دوره بازگشت ۵ ساله می‌باشند. با این حال، در حدود ۶۷ هکتار از اراضی کشاورزی مجاور رودخانه در این بازه در معرض آب‌گرفتی و غرقاب‌شدگی قرار دارند. از نظر سیلاب‌های ۱۰ساله در حدود ۱۱۵ هکتار از اراضی دشت سیلابی در معرض سیلاب قرار دارند و همچنین عرض پهنه‌های سیل‌گیر در بازه مطالعاتی در حدود ۶۰ متر می‌باشد. همانگونه که مشخص است آهنگ افزایش پهنه‌های سیل‌گیر با افزایش دوره‌های بازگشت از روند پرشتابی برخوردار نیست. این امر به دلیل عرض کم دره و دشت سیلابی مربوطه در بخش‌های وسیعی از این بازه، مخصوصا در نیمه غربی، می‌باشد. برای سیلاب‌های با دوره بازگشت ۱۰ ساله نیز هیچ منطقه مسکونی توسط سیلاب‌ها تهدید نمی‌شوند. با این حال مساحت اراضی کشاورزی تحت تاثیر سیلاب افزایش یافته و به حدود ۷۹ هکتار می‌رسد. از نظر مکانی، ترانسکت‌های شماره (۱۷)، (۱۸)، (۱۹)، (۲۳)، (۲۵) و (۲۶) به شدت تحت تاثیر این سیلاب‌ها قرار می‌گیرند و بدین ترتیب، اتخاذ اقدامات سازه‌ای و غیرسازه‌ای برای کاهش ریسک سیلاب در محدوده این ترانسکت‌ها ضرورت پیدا می‌کند. از نظر سیلاب‌های با دور بازگشت ۲۵ ساله بالغ بر ۱۳۸ هکتار از اراضی مجاور رودخانه در معرض سیلاب قرار دارند. میانگین عرض سیل‌گیری در این بازه در حدود ۷۲ متر می‌باشد. بیشترین افزایش مساحت و عرض سیل‌گیری در نیمه شرقی بازه مطالعاتی و منطبق بر ترانسکت‌های شماره (۱۷)، (۱۸)، (۱۹)، (۲۳)، (۲۵) و (۲۶) می‌باشد. در سایر ترانسکت‌ها، مخصوصا در ترانسکت‌های نیمه غربی، افزایش محسوسی در پهنه‌های سیل‌گیر اتفاق نمی‌افتد که دلیل اساسی آن مربوط به کم‌عرض بودن دره و دشت سیلابی مربوطه می‌باشد. با این حال، عمق سیلاب به طور محسوسی (بیش از ۲۰ سانتی‌متر) افزایش پیدا می‌کند. از نظر آسیب‌پذیری کاربری‌ها، کاربری مسکونی و ساخته شده موجود در محدوده این بازه مصون از سیلاب‌های با دوره بازگشت ۲۵ سال می‌باشند. با این حال، بالغ بر ۹۶ هکتار از اراضی کشاورزی فاریاب شامل ۱۷ هکتار اراضی زراعی، ۳۰ هکتار باغات و ۴۹ هکتار اراضی مخلوط باغ- زراعت در معرض سیلاب‌های با دوره بازگشت ۲۵ ساله می‌باشند. تمرکز این اراضی در نیمه شرقی و مخصوصا ترانسکت‌های فوق‌الذکر می‌تواند اثرات مخرب این سیلاب‌ها در مقیاس محلی را به وضوح نشان دهد؛ مخصوصا که عمق سیلاب نیز برای سیلاب‌های با دوره بازگشت ۲۵ ساله و بیشتر افزایش محسوسی می‌یابد. این امر می‌تواند منجر به فرسایش‌های شدید و از بین رفتن خاک‌های حاصلخیز و تغییرات شدید در مورفولوژی رودخانه گردد. برای سیلاب‌های با دوره بازگشت ۵۰ ساله مساحت پهنه‌های سیل‌گیر در محدوده بازه (۲) به حدود ۱۵۱ هکتار و عرض سیل‌گیری به حدود ۸۰ متر افزایش پیدا می‌کند. با این حال، همانند سایر موارد، این آهنگ افزایش از روند پرشتابی برخوردار نیست. این سیلاب‌ها نیز خطری را متوجه سکونتگاه‌ها و زیرساخت‌های منطقه نمی‌سازند. این امر عمدتا مربوط به مکان‌گزینی سکونتگاه‌های این بازه در خارج از محدوده دشت سیلابی می‌باشد. مساحت اراضی کشاورزی درمعرض سیلاب‌های ۵۰ ساله به حدود ۱۰۵ هکتار شامل ۲۱ هکتار اراضی زراعی، ۳۲ هکتار باغات و ۵۲ هکتار مخلوط باغ و زراعت افزایش پیدا می‌کند. با توجه به تمرکز اراضی کشاورزی فاریاب به قسمت‌های شرقی بازه می‌توان بیان داشت که بخش اعظم اراضی کشاورزی فاریاب موجود در دشت سیلابی این بازه در معرض سیلاب‌های مخرب ۵۰ ساله و بالاتر قرار می‌گیرند. بدین ترتیب، می‌توان به اهمیت مدیریت ریسک سیلاب در بازه مطالعاتی برای سیلاب‌های با دوره بازگشت بالا (بیشتر از ۲۵ سال) پی برد. با توجه به محدود بودن عرض دره و دشت سیلابی مربوطه در بازه (۲) افزایش مساحت و عرض پهنه‌های سیل‌گیر برای سیلاب‌های با دوره بازگشت ۱۰۰ و ۲۰۰ ساله چندان محسوس نیست. مساحت پهنه‌های سیل‌گیر برای سیلاب‌های با دوره بازگشت ۱۰۰ و ۲۰۰ ساله به ترتیب بالغ بر ۱۶۴ و ۱۸۱ هکتار و عرض سیل‌گیری به طور متوسط به ۸۸ و ۹۶ متر بالغ می‌شود. این سیلاب‌ها نیز خطری را متوجه سکونتگاه‌های روستایی

و زیرساخت‌های موجود در منطقه نمی‌سازند؛ با این حال به دلیل افزایش قابل توجه دبی و توان رودخانه می‌توانند منجر به فرسایش و تخریب شدید خاک و همچنین تغییرات مورفولوژیکی قابل توجه شوند.

جدول ۴: مساحت کاربری‌های متاثر از سیلاب با دوره‌های بازگشت مختلف در بازه (۲)

کاربری	مساحت کاربری		مساحت تحت تاثیر سیلاب به هکتار						
	به هکتار	به درصد	سیلاب ۲ ساله	سیلاب ۵ ساله	سیلاب ۱۰ ساله	سیلاب ۲۵ ساله	سیلاب ۵۰ ساله	سیلاب ۱۰۰ ساله	سیلاب ۲۰۰ ساله
اراضی زراعی	۱۳۳.۶	۱۱.۳	۷.۷	۱۰.۶	۱۲.۹	۱۷.۳	۲۱.۳	۲۴.۲	۲۹.۰
اراضی دیم	۸۷.۰	۷.۴	۰.۵	۰.۸	۱.۰	۱.۳	۱.۴	۱.۵	۱.۶
مخلوط باغ و زراعت	۹۳.۶	۷.۹	۲۷.۹	۳۶.۳	۴۱.۶	۴۸.۸	۵۲.۰	۵۶.۳	۶۰.۷
باغات	۶۳.۷	۵.۴	۱۳.۱	۱۹.۷	۲۴.۷	۲۹.۷	۳۱.۶	۳۳.۷	۳۶.۴
مسکونی	۱۲.۴	۱.۱	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۰.۱
اراضی بایر	۴۶۳.۲	۳۹.۳	۳.۲	۴.۶	۶.۱	۷.۳	۷.۹	۸.۶	۹.۵
مراتع	۲۹۱.۱	۲۴.۷	۹.۹	۱۳.۵	۱۶.۶	۱۹.۶	۲۱.۴	۲۳.۳	۲۵.۴
پوشش درختچه ای	۱.۰	۰.۱	۰.۲	۰.۳	۰.۳	۰.۴	۰.۴	۰.۴	۰.۵
توده های آب	۳۴.۰	۲.۹	۵.۰	۸.۹	۱۱.۴	۱۳.۹	۱۴.۹	۱۶.۲	۱۷.۴

ارزیابی سیلاب رودخانه گیوی‌چای در بازه (۳)

تفاوت اساسی این بازه با بازه بالادست (بازه ۲) و بازه پایین دست (بازه ۴) مربوط به عرض زیاد دره و دشت سیلابی مربوطه و همچنین دینامیک جانبی نسبتا بالای مجرای رودخانه گیوی‌چای در این بازه می‌باشد. در این بازه به دلیل عواملی مانند وجود دشت سیلابی توسعه یافته، فرسایش‌پذیری مواد کناره (متشکل از آبرفت‌های جوان کواترنری)، دریافت انشعابات زیاد و غیره تحرک جانبی مجرای رودخانه از پتانسیل بالایی برخوردار است. همچنین، مساحت و عرض پهنه‌های سیل‌گیر نسبت به دو بازه بالادست و پایین دست زیاد است. در این رابطه، مساحت پهنه‌های سیل‌گیر ۲ ساله در امتداد رودخانه گیوی‌چای در محدوده بازه (۳) بالغ بر ۱۰۳ هکتار و متوسط عرض سیل‌گیری در حدود ۵۷/۵ متر می‌باشد. کمترین میزان سیل‌گیری با عرضی در حدود ۱۱ متر در محدوده ترانسکت شماره (۵۰) (به دلیل خاک‌ریزی در مجاورت شهر فیرزوآباد) و بیشترین میزان سیل‌گیری با عرضی در حدود ۱۳۶ متر در محدوده ترانسکت شماره (۳۷) قرار دارد. همانند سایر بازه‌ها بخش اعظمی از این پهنه‌ها منطبق بر بستر فعلی رودخانه بوده که در مقاطع مستعد، پخش سیلاب در مجاورت رودخانه نیز اتفاق می‌افتد. در این زمینه می‌توان به پخش سیلاب‌های با دوره بازگشت ۲ الی ۳ ساله در محدوده ترانسکت (۴۶) و روستای سکرآباد اشاره کرد. در این نقطه به دلیل انباشته شدن بستر رودخانه از گل و لای و بالا آمدن بستر، فقدان سیل‌بند و برداشت شن و ماسه از کناره‌های رودخانه این‌گونه سیلاب‌ها به محدوده خارج از بستر رودخانه نیز گسترش می‌یابند. سیلاب‌های ۲ ساله خطری را متوجه کاربری‌های مسکونی و ساخته شده در محدوده بازه (۳) نمی‌سازند. با این حال، در حدود ۵۲ هکتار از اراضی کشاورزی شامل ۱۳ هکتار اراضی زراعی، ۲۶/۶ هکتار باغات و ۱۲/۶ هکتار مخلوط باغ و زراعت می‌توانند توسط سیلاب‌های با دوره بازگشت ۲ الی ۳ ساله تحت تاثیر قرار گیرند. پهنه‌های سیل‌گیر برای سیلاب‌های با دوره بازگشت ۵ ساله با افزایشی در حدود ۶۹ هکتار به حدود ۱۷۲ هکتار می‌رسد و همچنین متوسط عرض سیل‌گیری به حدود ۹۵ متر افزایش پیدا می‌کند. بدین ترتیب پهنه‌های سیل‌گیر نسبت به سیلاب‌های با دوره بازگشت ۲ ساله افزایش محسوسی پیدا می‌کند. این افزایش مخصوصا در محدوده ترانسکت‌های شماره (۴۴) تا (۴۹) در نیمه غربی بازه (۳) قابل توجه می‌باشد. توجه به تصاویر ماهواره‌ای و مشاهدات میدانی نیز تایید کننده این امر است. در این محدوده، بستر رودخانه نسبت به سایر قسمت‌های بازه مطالعاتی از عمق زیادی برخوردار نبوده و در بسیاری از مقاطع بستر با کناره‌هایی کم‌ارتفاع و نامشخص با دشت سیلابی خود در ارتباط است. در این محدوده هنوز کناره‌ها و محدوده حریم رودخانه به صورت کامل تبدیل به اراضی کشاورزی نگردیده و از پوشش مراتعی و درختچه‌ای برخوردار است. از طرف دیگر، به دلیل عریض بودن بستر، الگو یا پلان‌فرم رودخانه تمایل به گیسوئی شدن دارد. به بیان بهتر، در این محدوده پلان‌فرم رودخانه دارای رفتار

آستانه‌ای می‌باشد. از نظر کاربری‌های آسیب‌پذیر، سیلاب‌های با دوره بازگشت ۵ ساله همانند سیلاب‌های ۲ ساله تهدیدی را متوجه سکونتگاه‌های منطقه نمی‌سازند. با این حال، بالغ بر ۹۶ هکتار از اراضی کشاورزی در معرض سیلاب‌های با دوره بازگشت ۵ ساله می‌باشند. از نظر سیلاب‌های با دوره بازگشت ۱۰ ساله بالغ بر ۲۲۷ هکتار از اراضی دشت سیلابی در محدوده بازه (۳) در معرض سیلاب قرار دارند. همچنین، میانگین عرض سیل‌گیری در این بازه به حدود ۱۲۸ متر می‌رسد. در حالت کلی، بازه (۳) رودخانه گیوی‌چای را می‌توان سیلابی‌ترین بازه رودخانه به‌شمار آورد. این امر به دلیل عرض زیاد دشت سیلابی، اختلاف ارتفاع اندک بین بستر و دشت سیلابی، دریافت انشعابات مختلف و غیره می‌باشد. در این رابطه، بالغ بر ۱۳۷ هکتار از اراضی کشاورزی حاشیه رودخانه در این بازه تحت تاثیر سیلاب‌های با دوره بازگشت ۱۰ ساله قرار دارند و درنتیجه از آسیب‌پذیری بالایی نسبت به رخداد سیلاب برخوردارند. این اراضی عمدتا در نیمه شرقی بازه مطالعاتی یعنی از محدوده پایین‌دست شهر گیوی تا روستای گرگ‌آباد (محدوده ترانسکت‌های شماره ۳۶ تا ۴۱) توزیع شده‌اند. در نیمه غربی به طور عمده اراضی با پوشش درختچه‌ای و مرتعی مجاور رودخانه تحت تاثیر این‌گونه سیلاب‌ها قرار دارند. در محدوده این بازه نیز سیلاب‌های با دوره بازگشت ۱۰ ساله خطری را متوجه سکونتگاه‌ها و زیرساخت‌های مستقر در محدوده مطالعاتی نمی‌سازند. برای سیلاب‌های با دوره بازگشت ۲۵ ساله مساحت پهنه‌های سیل‌گیر به حدود ۳۰۶ هکتار و عرض سیل‌گیری دره به حدود ۱۷۸ متر افزایش پیدا می‌کند. این سیلاب‌ها نیز تهدیدی جدی را متوجه سکونتگاه‌های انسانی موجود در منطقه نمی‌سازند؛ با این حال، می‌توانند برخی از جاده‌های موجود در منطقه را در معرض تخریب قرار دهند. در حدود ۱۹۸ هکتار از اراضی کشاورزی موجود در محدوده این بازه در معرض سیلاب‌های نسبتا عمیق و شدید ۲۵ ساله قرار می‌گیرند. در قسمت‌های شرقی بازه مطالعاتی (محدوده ترانسکت‌های شماره ۳۶ تا ۴۱) مساحت اراضی تحت تاثیر سیلاب-های ۲۵ ساله رقم قابل توجهی می‌باشد. هرچند که در نیمه غربی بخش قابل توجهی از اراضی سیل‌گیر دارای پوشش مرتعی و درختچه‌ای هستند اما سیلاب‌های ۲۵ ساله (و بیشتر) بخش‌هایی از اراضی کشاورزی منطقه را نیز تحت تاثیر قرار می‌دهند. با توجه به افزایش عمق و توان رودخانه برای سیلاب‌های با دوره بازگشت ۲۵ ساله و بالاتر می‌توان به تغییرات مورفولوژیکی قابل توجه این سیلاب‌ها پی برد. این امر در ترکیب با متغیرهایی مانند فرسایش‌پذیری بالای مواد کناره، دخالت نسبی اندک عامل انسانی و غیره می‌تواند تغییرات مورفولوژیکی چشم‌گیری را در این محدوده از رودخانه گیوی‌چای موجب گردد. برای سیلاب‌های با دوره بازگشت ۵۰ ساله مساحت و عرض پهنه‌های سیل‌گیر افزایش قابل توجهی پیدا می‌کند. این امر در ارتباط با شرایط ژئومورفولوژیکی این بازه از رودخانه بوده که پخش سیلاب در پهنه‌هایی وسیع‌تر را امکان‌پذیر می‌سازد. در این رابطه، مساحت پهنه‌های سیل‌گیر این‌گونه سیلاب‌ها برای بازه (۳) در حدود ۳۷۶ هکتار و متوسط عرض سیل‌گیری در حدود ۲۱۹ متر می‌باشد. عرض سیل‌گیری در محدوده ترانسکت‌های (۴۴) تا (۴۹) به شدت افزایش پیدا می‌کند و بخش‌های قابل توجهی از عرض دشت سیلابی در محدوده این ترانسکت‌ها تحت تاثیر اثرات مخرب این سیلاب‌ها خواهند بود. با وجود افزایش مساحت و عرض پهنه‌های سیل‌گیر این سیلاب‌ها، نقاط مسکونی موجود در محدوده این بازه مصون از این سیلاب‌ها می‌باشند. در واقع، استقرار سکونتگاه‌ها در نقاط مرتفع‌تر باعث شده است که به طور مستقیم توسط سیلاب‌ها تحت تاثیر قرار نگیرند. با این حال برخی از تاسیسات و زیرساخت‌های موجود در دشت سیلابی می‌توانند تحت تاثیر این سیلاب‌ها قرار گیرند. همچنین در حدود ۲۵۸ هکتار از اراضی مرغوب کشاورزی در معرض سیلاب‌های مخرب با دوره بازگشت ۵۰ ساله و بالاتر واقع هستند. در محدوده این بازه چندین انشعاب نسبتا پرآب (مخصوصا انشعابات سنگورچای و آرپاچای) وارد مجرای اصلی گیوی‌چای شده و دبی رودخانه افزایش قابل توجهی پیدا می‌کند. بدین ترتیب، عریض بودن دره و وجود دشت سیلابی توسعه یافته، عمق کم مجرا و اختلاف ارتفاع اندک آن با دشت سیلابی و دریافت انشعابات متعدد باعث شده است که این بازه از پتانسیل رخداد سیلاب بالاتری برخوردار باشد. شرایط مذکور برای سیلاب‌های با دوره بازگشت ۱۰۰ و ۲۰۰ ساله نیز برقرار است. مساحت پهنه‌های درمعرض سیلاب‌های ۱۰۰ و ۲۰۰ ساله در بازه (۳) به ترتیب در حدود ۴۳۲ و ۴۷۲ هکتار و عرض سیل‌گیری به ترتیب در حدود ۲۵۲ و ۲۷۴ متر می‌باشد. همان‌گونه

که مشخص است روند افزایشی نسبتا پرشتاب مساحت و عرض پهنه‌های سیلابی برای دوره‌های بازگشت بالاتر نیز تداوم پیدا می‌کند. دلیلی اساسی این روند در ارتباط با عریض بودن دره و دشت سیلابی در این بازه می‌باشد. با وجود افزایش قابل توجه مساحت پهنه‌های سیل‌گیر، سیلاب‌های با دوره بازگشت ۱۰۰ و ۲۰۰ ساله نیز خطر چندانی را برای سکونتگاه‌های موجود در منطقه ایجاد نمی‌کنند و تنها بخش‌هایی محدود از سکونتگاه‌های موجود در جنوب رودخانه (مخصوصا در محدوده فیروزآباد) از احتمال آبگرفتی برخوردارند. این آبگرفتگی احتمالی به صورت کم‌عمق و سطحی خواهد بود. با این حال، برخی از زیرساخت‌های موجود در دشت سیلابی- مخصوصا شبکه‌های ارتباطی و شبکه‌های آبیاری- دچار خسارت‌های سنگینی خواهند شد. در کل، مساحت کاربری‌های کشاورزی تحت تاثیر سیلاب‌های با دوره بازگشت ۱۰۰ و ۲۰۰ ساله به ترتیب بالغ بر ۲۹۷ و ۳۲۹ هکتار می‌باشد. در واقع، بخش قابل توجهی از اراضی کشاورزی موجود در دشت سیلابی این بازه در معرض این‌گونه سیلاب‌ها قرار دارند. نکته قابل توجه، در ارتباط با تغییرات مورفولوژیکی مجرای رودخانه در این بازه است. سیلاب‌های با دوره بازگشت بالا از عمق و توان بسیار بالایی برخوردارند و با توجه به پتانسیل بالای تغییرات موفولوژیکی در این بازه می‌توانند منجر به تغییرات کلی در مورفولوژی و پلان‌فرم مجرا شوند.

جدول ۵: مساحت کاربری‌های متاثر از سیلاب با دوره‌های بازگشت مختلف در بازه (۳)

کاربری	مساحت کاربری		مساحت تحت تاثیر سیلاب به هکتار					
	به هکتار	به درصد	سیلاب ۲ ساله	سیلاب ۵ ساله	سیلاب ۱۰ ساله	سیلاب ۲۵ ساله	سیلاب ۵۰ ساله	سیلاب ۱۰۰ ساله	سیلاب ۲۰۰ ساله
اراضی زراعی	۲۹۹.۹	۲۱.۴	۱۳.۰	۲۷.۷	۴۴.۱	۷۳.۳	۱۰۱.۸	۱۲۳.۷	۱۴۰.۰
اراضی دیم	۲۸۱.۶	۲۰.۱	۱.۷	۵.۳	۸.۲	۱۰.۹	۱۴.۵	۲۲.۲	۲۵.۶
مخلوط باغ و زراعت	۹۵.۸	۶.۸	۱۲.۶	۲۴.۸	۳۵.۸	۴۷.۴	۵۸.۵	۶۵.۰	۷۱.۱
باغات	۱۷۲.۶	۱۲.۳	۲۶.۶	۴۳.۸	۵۶.۷	۷۷.۱	۹۷.۳	۱۰۷.۹	۱۱۷.۵
مسکونی	۴۵.۳	۳.۲	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۰.۱	۰.۱	۰.۲
اراضی بایر	۱۸۹.۲	۱۳.۵	۰.۲	۰.۲	۰.۳	۰.۳	۰.۳	۰.۴	۰.۵
مراتع	۲۸۷.۹	۲۰.۵	۴۳.۲	۵۹.۳	۶۸.۲	۷۸.۰	۸۲.۸	۸۹.۲	۹۳.۶
پوشش درختچه ای	۳۰.۴	۲.۲	۵.۶	۱۰.۶	۱۳.۹	۱۸.۷	۲۱.۰	۲۳.۵	۲۴.۰

ارزیابی سیلاب رودخانه گیوی‌چای در بازه (۴)

این بازه تفاوت‌های اساسی با سایر بازه‌های رودخانه گیوی‌چای دارد که از جمله می‌توان به تفاوت‌های قابل توجه در کاربری اراضی و فقدان اراضی کشاورزی، درجه ناهمواری بسیار بالا، عرض دره بسیار تنگ و باریک، وجود لیتولوژی‌های مقاوم، شیب بالا و غلبه مواد درشت‌دانه در بستر مجرا اشاره نمود. پوشش زمین در این قسمت از منطقه مطالعاتی به طور عمده شامل مراتع با پوشش گیاهی متوسط تا خوب است که بخش قابل توجهی از دامنه‌های مشرف به دره اصلی گیوی‌چای در این بازه را شامل می‌شوند. اراضی بایر یا با پوشش گیاهی ضعیف نیز به دلیل توپوگرافی تند و خشن و فراوانی پهنه‌های پرتگاهی و برونزدهای سنگی در سطح منطقه از درصد نسبتا بالایی برخوردارند. پوشش درختچه‌ای عمدتا در بستر دره و بخش‌هایی از دامنه‌های مجاور رودخانه گیوی‌چای پراکنده شده‌اند. رشد و نمو این درختچه‌ها در بستر دره گیوی‌چای در ارتباط با پشته‌های نقطه‌ای کناره‌های محدب مئاندرهای رودخانه می‌باشد. از نظر خطر وقوع سیلاب، مساحت پهنه‌های سیل‌گیر برای سیلاب‌های با دوره بازگشت ۲ ساله در حدود ۴۲ هکتار و عرض پهنه‌های سیل‌گیر نیز در حدود ۲۳ متر می‌باشد. در این بازه سیلاب‌ها به دلیل نبود سکونتگاه‌های انسانی در مجاورت رودخانه مخاطره خاصی را ایجاد نمی‌کنند. در این رابطه بالغ بر ۲۶/۳ هکتار از مراتع، ۱۵/۴ هکتار از پوشش درختچه‌ای و ۰/۳ هکتار از اراضی دیم مجاور رودخانه گیوی‌چای در بازه (۴) تحت تاثیر سیلاب‌های با دوره بازگشت ۲ ساله قرار می‌گیرند. پهنه‌های سیل‌گیر برای سیلاب‌های ۵ ساله با افزایشی در حدود ۶ هکتار به ۵۶ هکتار می‌رسد. با توجه به تنگ و باریک بودن عرض دره در محدوده این بازه می‌توان پیش‌بینی نمود که با افزایش دوره‌های بازگشت و علی‌رغم افزایش قابل توجه دبی، آهنگ افزایش مساحت و عرض پهنه‌های سیل‌گیر افزایش محسوس و قابل توجهی نخواهد داشت. از نظر کاربری‌های تحت تاثیر سیلاب نیز تنها

دو کاربری مراتع و پوشش درختچه‌ای تحت تاثیر سیلاب‌ها قرار می‌گیرند که جزو پوشش طبیعی منطقه بوده و آسیب‌پذیری پایینی نسبت به سیلاب‌ها دارند. برای سیلاب‌های با دوره بازگشت ۱۰ ساله مساحت پهنه‌های سیل‌گیر بالغ بر ۶۴/۸ هکتار و عرض سیل‌گیری به طور متوسط در حدود ۳۶ متر می‌باشد. در خصوص سیلاب‌های با دوره بازگشت ۲۵ ساله نیز پهنه‌هایی از مجاور رودخانه به مساحت ۷۷ هکتار و عرض ۴۴ متر تحت تاثیر قرار می‌گیرند. با توجه به نقشه پهنه‌بندی خطر سیلاب و انطباق آن با تصاویر ماهواره‌ای می‌توان بیان داشت که سیلاب‌های با دوره بازگشت ۲۵ ساله و نزدیک به آن تقریبا بخش اعظم بستر دره و دشت سیلابی محلی بازه را غرقاب نموده و برای سیلاب‌های با دوره بازگشت بالاتر پشته‌های نقطه‌ای موجود در بستر و کناره‌های روخانه نیز تحت تاثیر قرار می‌گیرند. مساحت پهنه‌های سیل‌گیر برای سیلاب‌های با دوره بازگشت ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ سال به ترتیب بالغ بر ۸۷، ۹۵ و ۱۰۴ هکتار می‌باشد. عرض سیل‌گیری برای این سیلاب‌ها نیز به ترتیب در حدود ۵۲، ۵۶ و ۶۰ متر می‌باشد. در این بازه، سیلاب‌های با دوره بازگشت بالاتر باعث افزایش قابل توجه عمق و توان رودخانه می‌شوند. با این حال، به دلیل فرسایش‌پذیری اندک بستر و کناره‌های رودخانه، توان شکل‌زایی این سیلاب‌ها تا حد زیادی تعدیل می‌شود. از اثرات قابل توجه این سیلاب‌ها می‌توان به ایجاد میان‌برهای شوت و تغییر مسیرهای کوتاه در داخل بستر دره اشاره نمود.

جدول ۶: مساحت کاربری‌های متاثر از سیلاب با دوره‌های بازگشت مختلف در بازه (۴)

کاربری	مساحت کاربری		مساحت تحت تاثیر سیلاب به هکتار					
	به هکتار	به درصد	سیلاب ۲ ساله	سیلاب ۵ ساله	سیلاب ۱۰ ساله	سیلاب ۲۵ ساله	سیلاب ۵۰ ساله	سیلاب ۱۰۰ ساله	سیلاب ۲۰۰ ساله
مراتع متوسط	۸۰۶.۵	۸۳.۷	۲۶.۳	۳۴.۸	۴۰.۵	۴۸.۶	۵۴.۴	۵۹.۴	۶۵.۱
پوشش درختچه ای	۴۶.۶	۴.۸	۱۵.۴	۲۰.۷	۲۳.۵	۲۷.۷	۳۱.۰	۳۳.۸	۳۶.۰
اراضی بایر	۱۰۸.۴	۱۱.۲	۰.۳	۰.۶	۰.۷	۱.۱	۱.۳	۱.۸	۲.۱
اراضی دیم	۲.۶	۰.۳	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۰.۱	۰.۲	۰.۳	۰.۵

نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر مورفولوژی و خطر سیلاب رودخانه گیوی‌چای مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج حاصل از شاخص‌های مورفولوژیکی نشان می‌دهند که الگوی مجرای رودخانه گیوی‌چای از نوع مئاندری توسعه یافته می‌باشد. با وجود این، بسته به ویژگی‌های زمین‌شناختی، ژئومورفولوژیکی و آنتروپوژنیک تغییرپذیری مکانی زیادی در خصوص الگوی رودخانه وجود دارد. در این چارچوب، الگوی رودخانه در بازه اول عمدتا در کنترل عوامل انسانی می‌باشد و در بازه زمانی ۲۰۰۲ تا ۲۰۲۰ میلادی مقادیر زاویه مرکزی و ضریب خمیدگی دارای روند ثابت یا کاهشی ملایمی بوده است. ثابت بودن یا کاهش ضریب خمیدگی و زاویه مرکزی در این بازه به دلیل پایدارسازی و تثبیت کناره‌های رودخانه یا کانالیزه نمودن مجرا توسط عامل انسانی می‌باشد. در کل، در طی ۱۸ سال گذشته (از سال ۲۰۰۲ تا ۲۰۲۰) به دلیل تغییرات عرضی (مخصوصا فرسایش کناره) بالغ بر ۶/۹۵ هکتار از اراضی موجود در حاشیه رودخانه در این بازه فرسایش یافته‌اند. الگوی رودخانه در بازه دوم نیز از نوع مئاندری توسعه یافته می‌باشد. در طی ۱۸ سال گذشته مقادیر ضریب خمیدگی و زاویه مرکزی در محدوده این بازه افزایش یافته است. این افزایش عمدتا در نیمه شرقی بازه مذکور و در نتیجه‌ی فرسایش و توسعه خم‌های مئاندرها اتفاق افتاده است. در این بازه میانگین تغییرات عرضی در طی سال‌های ۲۰۰۲ تا ۲۰۲۰ میلادی در حدود ۰/۴۰۶ هکتار بوده که عمدتا مربوط به نیمه شرقی بازه می‌باشد. در بازه سوم عرض دره و دشت سیلابی افزایش قابل توجهی پیدا کرده و درنتیجه، مجرای رودخانه از پتانسیل بالایی برای تغییرات جانبی برخوردار می‌باشد. فرسایش‌پذیری مواد کناره، وجود دشت سیلابی توسعه‌یافته، دریافت انشعابات مختلف و دخالت نسبتا پایین انسان باعث شده است که رودخانه در این بازه از بیشترین میزان تحرک جانبی برخوردار باشد. در این رابطه، میانگین تغییرات جانبی مجرای رودخانه گیوی‌چای در محدوده این بازه به ۱/۳۱۹ هکتار افزایش پیدا می‌کند. تغییرات مورفولوژیکی عمده در محدوده این بازه به صورت توسعه مئاندرها به‌واسطه

فرسایش کناره‌های خارجی خم مئاندرها، میان‌برهای شوت و تغییر مسیرهای کوچک مقیاس بوده است. یکی از دلایل پایین بودن میانگین زاویه مرکزی و ضریب خمیدگی این بازه نیز در ارتباط با رخداد مکرر میان‌برهای شوت و تغییر مسیرهای کوچک مقیاس می‌باشد که باعث کاهش انحنا و مستقیم‌تر شدن مجرای رودخانه می‌گردند. بازه چهارم با توجه به کوهستانی بودن و درجه ناهمواری بالا و عرض بسیار محدود دره از سایر بازه‌های رودخانه گیوی‌چای متمایز می‌شود. الگوی رودخانه در محدوده این بازه از نوع مئاندری توسعه یافته می‌باشد؛ با این حال مئاندرهای این بازه از نوع محصور بوده و در کنترل متغیر زمین‌شناسی می‌باشند. مجرای رودخانه در محدوده این بازه به دلیل عرض محدود دره و مقاوم بودن مواد کناره از کمترین میزان تحرک جانبی برخوردار بوده و پایدار به‌شمار می‌رود.

شبیه‌سازی سیلاب رودخانه گیوی‌چای با استفاده از مدل HEC-RAS نشان‌دهنده تغییرپذیری مکانی بسیار بالای خطر سیلاب در امتداد رودخانه می‌باشد. این تغییرپذیری از شرایط ژئومورفولوژیکی متغیر در امتداد رودخانه نشات می‌گیرد. نتایج نشان می‌دهد که سیلاب‌های با دوره بازگشت کمتر از ۱۰ سال مخاطره‌ای جدی را متوجه جوامع انسانی ساکن در مجاورت رودخانه گیوی‌چای نمی‌سازند. این سیلاب‌ها عمدتا اراضی کشاورزی حاشیه رودخانه را تحت تاثیر قرار می‌دهند. در این رابطه، بازه سوم از بیشترین میزان تاثیرپذیری نسبت به این سیلاب‌ها برخوردار است. در واقع، به دلیل اختلاف ارتفاع اندک بستر و دشت سیلابی در محدوده بازه مذکور سیلاب‌ها از قابلیت پخش در گستره‌ای وسیع‌تر برخوردارند. در خصوص مدیریت خطر سیلاب در منطقه مطالعاتی پیشنهاد می‌شود که در اکثر مقاطع گستره سیلاب‌های با دوره بازگشت ۱۰ ساله به‌عنوان حریم اصلی رودخانه مدنظر قرار گرفته و از توسعه ساخت و ساز یا تغییر کاربری اراضی در این محدوده‌ها جلوگیری شود. این محدوده‌ها از نظر پویایی مورفولوژیکی، اکوژئومورفولوژی و زیست‌محیطی نیز حائز اهمیت می‌باشند. با این حال در برخی از مقاطع (مخصوصا در محدوده شهر خلخال و بخش قابل توجهی از بازه فیروزآباد) به دلیل شرایط ژئومورفولوژیکی منطقه می‌بایست با اقدامات سازه‌ای از قبیل احداث خاکریزها و سیل‌بندها از پخش بیشتر سیلاب جلوگیری به‌عمل آید. با افزایش دوره‌های بازگشت مخاطرات ناشی از سیلاب‌ها نیز افزایش می‌یابد. در این رابطه، در بازه اول به دلیل استقرار شهر خلخال در مجاورت رودخانه گیوی‌چای خطرات ناشی از سیلاب افزایش پیدا می‌کند. در واقع، بخش‌هایی از مرکز شهر خلخال می‌تواند توسط سیلاب‌های با دوره بازگشت ۲۵ ساله و بیشتر تحت تاثیر قرار گیرد. در امتداد رودخانه گیوی‌چای بیشترین مساحت و عرض پهنه‌های سیل‌گیر در غرب بازه اول و کل بازه سوم دیده می‌شود. افزایش سیل‌گیری در بازه‌های مذکور به دلایل متعددی از قبیل وجود دشت سیلابی توسعه یافته، دریافت انشعابات متعدد و پرآب، اختلاف ارتفاع اندک بستر و کناره‌های رودخانه، فقدان سیل‌بند و غیره می‌باشد. این در حالی است که نیمه غربی بازه دوم به همراه کل بازه چهارم به دلیل عرض محدود دره و فقدان دشت سیلابی دارای کمترین میزان سطح سیل‌گیری بوده و به دلیل عدم استقرار مراکز انسانی در مجاورت بلافصل رودخانه از پایین‌ترین آسیب‌پذیری نسبت به سیلاب برخوردارند. در حالت کلی، به استثنای محدوده شهر خلخال، سیلاب‌ها مخاطره‌ای جدی را متوجه مناطق مسکونی واقع در مجاورت رودخانه گیوی‌چای نمی‌سازند. این امر به دلیل استقرار سکونتگاه‌های انسانی در خارج از محدوده دشت سیلابی و بر روی دامنه‌ها و پایکوه‌های مشرف به مجرای اصلی رودخانه می‌باشد. بدین ترتیب، مخاطره اصلی سیلاب‌ها (با صرف‌نظر از شهر خلخال) متوجه اراضی کشاورزی منطقه است. با توجه به وجود خاک‌های حاصلخیز و اهمیت فعالیت‌های کشاورزی در دشت سیلابی رودخانه گیوی‌چای لازم است که با اقدامات سازه‌ای در مقاطع مذکور از گسترش بیشتر سیلاب (مخصوصا سیلاب‌های با دوره بازگشت بیش از ۱۰ سال) و مخاطرات مربوطه ممانعت به عمل آورد. بدیهی است که بخش مهمی از برنامه‌های مدیریت سیلاب رودخانه مرتبط با مهار و کنترل بروز سیلاب در سرچشمه‌ها و آبریزها می‌باشد. از نظر اثرات سیلاب‌ها بر مورفولوژی رودخانه می‌توان بیان داشت که بیشترین اثرگذاری سیلاب‌ها مربوط به مورفولوژی و الگوی مجرای رودخانه در بازه سوم می‌باشد. در این بازه، سیلاب‌ها– مخصوصا سیلاب‌های با دوره بازگشت ۱۰ ساله و بیشتر– باعث تغییرات چشمگیر در مورفولوژی رودخانه می‌شوند. این تغییرات علاوه بر فرسایش کناره خارجی خم مئاندرها به صورت وقوع میان‌برهای شوت

و تغییر مسیرهای کوچک مقیاس نیز می‌باشد که خود اثرات قابل توجهی بر جای می‌گذارد. سیلاب‌ها در نیمه غربی بازه دوم و کل بازه چهارم به دلیل تنگ و کم‌عرض بودن دره در مقیاس زمانی کوتاه مدت اثرات چندانی بر مورفولوژی رودخانه ندارند؛ با این حال، در درازمدت باعث افزایش عرض دره خواهند شد. اثرات مورفولوژیکی سیلاب‌ها در نیمه غربی بازه اول (پایین دست شهر خلخال) نیز می‌تواند چشمگیر باشد. این اثرات می‌تواند به صورت توسعه مئاندرها و ایجاد میان‌بر شوت بازتاب پیدا کند.

منابع

- ارزنلو، ا.، ۱۳۹۴. بررسی شکست سد خاکی شهر چای ارومیه ناشی از روگذری جریان و پهنه‌بندی سیلاب با استفاده از مدل *HEC- RAS* و *GIS*، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، سازه‌های هیدرولیکی، دانشگاه ارومیه.
- خیری‌زاده آروق، م.، ۱۳۹۵. تحلیل مورفودینامیک و تغییرات جانبی مجرای رودخانه زرینه‌رود (از شاهین‌دژ تا دریاچه ارومیه). رساله دکتری، دانشکده جغرافیا و برنامه‌ریزی، دانشگاه تبریز.
- رضایی مقدم، م. ح.، ثروتی، م. ر، و اصغری سراسکانرود، ا.، ۱۳۹۱. بررسی الگوی پیچان‌رودی رودخانه قزل‌اوزن با استفاده از شاخص‌های ضریب خمیدگی و زاویه مرکزی، جغرافیا (فصلنامه علمی- پژوهشی انجمن جغرافیای ایران)، سال دهم، شماره ۳۴، صص ۱۰۲-۸۵.
- رضایی مقدم، م. ح.، خیری زاده، م، و رحیمی، م.، ۱۳۹۵. بررسی جابجایی جانبی مجرای رودخانه ارس از سال ۱۳۷۹ تا ۱۳۹۳ (از ۱۵ کیلومتری غرب شهر اصلاندوز تا خروج رودخانه از محدوده سیاسی ایران)، جغرافیا وبرنامه ریزی محیطی، دوره ۲۷، شماره ۳، صص ۳۲-۱۵.
- رضایی مقدم، م. ح.، رجبی، م.، دانشفراز، ر، و خیری‌زاده، م.، ۱۳۹۵. پهنه‌بندی و بررسی اثرات مورفولوژیکی سیلاب‌های رودخانه زرینه‌رود، جغرافیا و مخاطرات محیطی، دوره ۵، شماره ۱، شماره پیاپی ۱۷، صص ۱۷-۱.
- رضایی مقدم، م. ح.، یاسی، م.، نیک‌جو، م. ر، و رحیمی، م.، ۱۳۹۷. پهنه‌بندی و تحلیل مورفولوژیکی سیلاب‌های رودخانه قره‌سو با استفاده از مدل هیدرودینامیکی *HEC-RAS* (از روستای پیرازمیان تا تلاقی رودخانه اهر چای)، جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره ۲۵، صص ۱۵-۱.
- غفاری، گ، و امینی، ع.، ۱۳۸۹. مدیریت دشت‌های سیلابی با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (*GIS*) (مطالعه موردی رودخانه قزل‌اوزن)، فضای جغرافیایی، شماره ۳۲، صص ۱۳۴-۱۱۷.
- قمی اویلی، ف.، صادقیان، م. ص.، جاوید، ا. ح، و میرباقری، س. ا.، ۱۳۸۹. شبیه‌سازی پهنه‌بندی سیل با استفاده از مدل *HEC-RAS*، علوم و فنون منابع طبیعی، شماره ۱، صص ۱۱۵-۱۰۵.
- مقصودی، م.، شرفی، س، و مقامی، ی.، ۱۳۸۹. روند تغییرات الگوی مورفولوژیکی رودخانه خرم‌آباد با استفاده از *RS*، *GIS* و *Auto Cad*، مدرس علوم انسانی- برنامه ریزی و آمایش فضا، دوره چهاردهم، شماره ۳، صص ۲۷۵-۲۹۴.
- یمانی، م.، تورانی، م، و چزغه، س.، ۱۳۹۱. تعیین پهنه‌های سیل‌گیر با استفاده از مدل *HEC-RAS* (بالادست رودخانه طالقان)، جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره ۱. صص ۱۶-۱.
- *Alcántara, I., & Goudie, A. S. (Eds.)., 2010. Geomorphological hazards and disaster prevention. Cambridge University Press.*
- *Alkema, D., 2004. RS and GIS applications in flood forecasting. Proceedings of the National Workshop on Flood Disaster Management: Space Inputs. India. pp. 57-59.*
- *Brunner, G.W., 2010. HEC-RAS river analysis system hydraulic reference manual, us army corps of engineers, version 4.1.*

- *Cameron, T., & Ackerman, P. E., 2009. HEC-GeoRAS: GIS Tools for the Support of HEC-RAS Using ArcGIS, Version 4.2, CPD83. US Army Corps of Engineers, Institute for Water Resources, Hydrologic Engineering Center: Davis, California, 246.*
- *Ezzine, A., Saidi, S., Hermassi, T., Kammessi, I., Darragi, F., & Rajhi, H., 2020. Flood mapping using hydraulic modeling and Sentinel-1 image: Case study of Medjerda Basin, northern Tunisia. The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science, Volume 23, Issue 3, Pages 303-310.*
- *Ghosh, S. N., 2014. Flood control and drainage engineering, Fourth edition. CRC Press/Balkema.*
- *HEC (Hydrologic Engineering Center)., 2010. HEC-RAS River Analysis System, Hydraulic Reference Manual. U. S. Army Corps of Engineers.*
- *Hyndman, D., & Hyndman, D., 2009. Natural Hazards and Disasters. Second Edition. Brooks/Cole, Cengage Learning. 555p.*
- *Iosub, M., Minea, I., Hapciuc, O., & Romanescu, G. H., 2015. The use of HEC-RAS modelling in flood risk analysis. Aerul si Apa. Componente ale Mediului, 315.*
- *Khattak, M. S., Anwar, F., Saeed, T. U., Sharif, M., Sheraz, K., & Ahmed, A., 2016. Floodplain mapping using HEC-RAS and ArcGIS: a case study of Kabul River. Arabian Journal for Science and Engineering, 41(4), 1375-1390.*
- *Martin, O., Rugumayo, A., & Ovcharovichova, J., 2012. Application of HEC HMS/RAS and GIS tools in flood modeling: A case study for river Sironko–Uganda. Journal of Engineering, Design and Technology, 1(2), 19-31.*
- *Merwade, V., 2004. Geospatial description of river channels in three dimensions (Doctoral dissertation). Civil, Architectural, and Environmental Engineering, The University of Texas at Austin.*
- *Ogras, S., & Onen, F., 2020. Flood Analysis with HEC-RAS: A Case Study of Tigris River. Advances in Civil Engineering, Volume 2020, pp. 1-13.*
- *Organization of American States (OAS)., 1991. Primer on Natural Hazard Management in Integrated Regional Development Planning. Organization of American States, Washington, D.C. http://www.oas.org/osde/publications/Unit/oea66e/begin.htm.*
- *Rangari, V. A., Umamahesh, N. V., & Bhatt, C. M., 2019. Assessment of inundation risk in urban floods using HEC RAS 2D. Modeling Earth Systems and Environment, 5(4), 1839-1851.*
- *Razi, M. A. M., Marimin, N. A., Ahmad, M. A., Adnan, M. S., & Rahmat, S. N., 2018. HEC-RAS Hydraulic Model for Floodplain Area in Sembrong River. International Journal of Integrated Engineering, 10(2).*
- *Schanze, J., Zeman, E. and Marsalek, J., 2004. Flood risk management: hazards, vulnerability and mitigation measures. Springer.*
- *Şen, Z., 2018. Flood modeling, prediction, and mitigation. Springer.*
- *Tate, Eric., 1999. Floodplain Mapping Using HEC-RAS and ArcView GIS. M.S.E thesis. The University of Texas at Austin. 215p.*
- *United States Geological Survey (USGS). (2007). Science Topics. Floods. The United States Geological Survey. Available online: http://www.usgs.gov/ (Last accessed on 25 April 2010).*
- *Wohl, E. E. (Ed.)., 2000. Inland flood hazards: human, riparian, and aquatic communities. Cambridge University Press.*